



Estudios Sociales  
43

## Biosólidos en la producción de maíz: impacto socioeconómico en zonas rurales del municipio de Puebla

Biosolids in maize production:  
Socioeconomic impact on rural areas  
of the municipality of Puebla

*Eduardo González Flores\**

*Engelberto Sandoval Castro\*\**

*Andrés Pérez Magaña\*\**

Fecha de recepción: noviembre de 2012

Fecha de aceptación: mayo de 2013

\*Instituto Tecnológico de Puebla

Dirección para correspondencia: egonz1962@yahoo.com.mx

\*\*Colegio de Postgraduados, Campus Puebla

## Resumen / Abstract

La generación de desechos manifiesta la compleja relación sociedad-naturaleza. Los biosólidos son un subproducto del tratamiento de aguas residuales urbanas y su disposición final se ha convertido en un problema ambiental. Una opción es utilizarlos como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas. En el municipio de Puebla, México, se generan 200 t d-1 de biosólidos que se utilizan en suelos agrícolas en zonas rurales. Los efectos ocasionados al suelo y al ambiente han sido muy estudiados, pero sobre los efectos socioeconómicos de los productores y sus familias, es un campo inexplorado. Se realizó una encuesta a los productores de la localidad de La Paz Tlaxcolpan, Puebla, que aplican biosólidos en sus parcelas. El objetivo del estudio fue evaluar la magnitud de los beneficios económicos y sociales que reciben por utilizar biosólidos. Hay incremento en los rendimientos en un rango de 25% a 400%. Los beneficios económicos y sociales son mínimos.

Palabras clave: metabolismo social, residuos urbanos, biosólidos, enmiendas agrícolas, impacto social.

Waste generation, manifest the complex relationship between society and nature. Biosolids are a byproduct of urban waste water treatment and final disposal is an environmental problema. One option is to use as organic amendment in agricultural soils. In the municipality of Puebla, Mexico generated 200 t d-1 of biosolids used in rural agricultural soils in rural areas. The effects caused to the soil and the environment have been studied. The effects socioeconomics produced to farmers and their families, is an unexplored area. A survey was conducted among farmers in the town of La Paz Tlaxcolpan, Puebla, applying biosolids on their land. The aim of this study was to evaluate the magnitude of the economic and social benefits they receive from using biosolids. There is an increase in yields ranging from 25% to 400%. The economic and social benefits are minimal.

Key words: social metabolism, urban waste, biosolids, agricultural amendments, social impact.

### Introducción

La utilización desmedida de recursos naturales, y la gran cantidad de residuos de todo tipo que se generan en los grandes centros urbanos e industriales en el mundo, han ocasionando un conflicto ambiental de proporciones planetarias. La apropiación de recursos naturales con diferentes fines y la generación de desechos son situaciones naturales a cualquier especie de ser vivo. El gran problema surge cuando esos recursos son utilizados a un ritmo mayor al de las capacidades de la naturaleza para reproducirlos y cuando los desechos son generados a un ritmo que sobrepasa a la capacidad de absorción de la naturaleza, lo que viola dos de los principios básicos de la sustentabilidad (Nebel, 1999). La enorme cantidad de desechos (sólidos, líquidos y gaseosos), y su consecuente efecto en el ambiente, son una manifestación de la compleja relación que existe entre el ser humano (agrupado en sociedad) y la naturaleza (Galafassi, 1993).

El concepto de “metabolismo social” es una herramienta teórico-metodológica para el estudio de la relación sociedad-naturaleza desde una perspectiva histórica; contempla entre sus fundamentos teóricos el estudio de la dinámica de entradas-salidas (uso de recursos naturales-generación de desechos) entre la sociedad y la naturaleza. El concepto aborda la problemática social-ambiental, integralmente. De manera análoga, con la noción biológica de metabolismo, el concepto de metabolismo social es utilizado en el estudio de las relaciones entre la sociedad y la naturaleza y describe y cuantifica los flujos de materia y energía que se intercambian entre los grupos sociales y los ecosistemas. El metabolismo lo realizan los seres humanos a través del proceso social del trabajo (Fischer-Kowalski, 2002).

El proceso metabólico entre la sociedad y la naturaleza se halla representado por cinco procesos distinguibles: la apropiación, la transformación, la distribución, el consumo y la excreción. El metabolismo social o metabolismo socio-económico, en general, está integrado, a su vez, por tres dimensiones principales: el metabolismo rural, el metabolismo urbano y el metabolismo industrial (Toledo, 2008). En la actualidad, y en un marco dominante de producción capitalista, el metabolismo urbano presenta las intensidades más altas en los procesos de consumo y excreción y el metabolismo industrial para la transformación y la excreción. Esto puede explicarse bajo las premisas del sistema de producción capitalista: no se produce tomando en consideración la capacidad de los ecosistemas de reproducir las materias primas que extrae y tampoco produce considerando la satisfacción de las necesidades humanas. Se hace, exclusivamente, por la ganancia. Por eso se produce siempre más y de manera más rápida; así se crea en los seres humanos la necesidad de consumir más mercancías, promoviendo de este modo la sociedad de consumo (Torres, 2001).

Los grandes centros urbanos e industriales en el mundo requieren enormes cantidades de materias primas y energía para reproducir sus condiciones materiales de existencia (Toledo y González de Molina, 2007). Como consecuencia lógica, se convierten en los principales excretores de desechos hacia la naturaleza. Los seres humanos aglomerados en los grandes centros urbanos, requieren (entre otras muchas cosas) grandes cantidades de agua para satisfacer sus necesidades. Este recurso natural es extraído de la naturaleza y transportado a las ciudades (cada vez a mayores distancias y con un elevado consumo de energía), en donde, después de ser usada por los seres humanos, el agua se convierte en un desecho que generalmente es descargado (excretado) a los cuerpos de agua naturales como ríos, lagos, etc. De esta manera, se ejemplifican perfectamente los procesos de consumo y excreción correspondiente, al metabolismo social, en su dimensión urbana (González de Molina, 2010).

### **La generación de biosólidos**

Debido a la cada vez menor disponibilidad de agua en México y en el mundo, y a una regulación ambiental más estricta, se ha incrementado en las últimas décadas la necesidad de tratar y depurar las aguas de desecho en las grandes ciudades; el objetivo es reutilizarla en algunas actividades y de excretar las aguas residuales urbanas a los cuerpos receptores con una mejor calidad para que su capacidad de asimilación y autodepuración no se vea rebasada (Conagua, 2011).

Sin embargo, tratar y depurar las aguas residuales generadas en las grandes ciudades ha traído consigo otro problema ambiental: la generación de enormes cantidades de un producto no deseado: lodos residuales o biosólidos (Semarnat, 2002) provenientes de los procesos de tratamiento.

Tradicionalmente, los métodos más utilizados para la disposición final de biosólidos son la incineración, su colocación en rellenos sanitarios y utilizarlos como enmiendas en suelos agrícolas. La última opción es factible por las propiedades de estos residuos, en cuanto a su composición química y sus características físicas. Poseen un alto contenido de materia orgánica y otros elementos, que son esenciales para el desarrollo óptimo de las plantas en los cultivos.

### Utilización de biosólidos en suelos agrícolas

Aunque en la Comunidad Europea y en los Estados Unidos de América, los biosólidos son comúnmente usados como enmiendas agrícolas, la práctica es aún muy controversial (McBride, 1995; Renner, 2000). Por un lado, el reciclado de nutrientes contenidos en los biosólidos, conforma un principio de la sustentabilidad, por el otro, la introducción de contaminantes en el suelo y los riesgos a los organismos, incluido el hombre, contradice los principios de prevención. Para uso a corto plazo solamente los biosólidos de la mejor calidad deben ser utilizados (tipo Excelente o Bueno, clase C, según NOM-004-Semarnat-2002 en la normativa mexicana). Para su empleo a largo plazo, deberán desarrollarse sistemas y técnicas que permitan conciliar el principio mencionado de la sustentabilidad y la prevención de riesgos (O'Connor *et al.*, 2005).

Los biosólidos contienen materia orgánica y varios nutrientes que contribuyen a la nutrición de las plantas (Singh y Agrawal, 2008). Mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo y pueden incrementar el rendimiento de la materia seca de muchos cultivos (Andrade *et al.*, 2000; Hernández-Herrera *et al.*, 2005). El principal riesgo por el uso de los biosólidos en suelos agrícolas es su contenido de metales pesados (He *et al.*, 2005). Algunos metales presentes en los biosólidos son micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (cobre y zinc) y proveen un beneficio a los cultivos. Sin embargo, como la mayoría de los elementos, en exceso pueden causar problemas fitotóxicos en la planta (Basta *et al.*, 2005).

En la ciudad de Puebla, México, como gran centro urbano (con poco más de millón y medio de habitantes), el consumo de agua se incrementa cada vez más y, en consecuencia, la generación de aguas residuales, también. Ante esta si-



tuación, a partir del año 2003, el gobierno del estado inició la operación de cinco plantas de tratamiento de aguas residuales que generan 200 t d<sup>-1</sup> de biosólidos. La depuración de las aguas residuales se resolvió parcialmente, pero surgió un nuevo problema: la disposición final de tal cantidad de residuos sólidos generados. Ante esta perspectiva, el gobierno estatal inició, en el año 2003, un programa denominado “Aplicación de biosólidos como mejoradores de suelo” a través del Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla (SOAPAP), con el objetivo de darles un destino final a los biosólidos producidos.

Los biosólidos se utilizan como mejoradores de suelos agrícolas en comunidades rurales del municipio. Una de estas comunidades es La Paz Tlaxcolpan, que ostenta la categoría de Inspectoría y pertenece a la Junta Auxiliar de San Andrés Azumiatla, municipio de Puebla. Su población actual es de setecientos habitantes, de acuerdo con datos del Consejo Nacional de Población (Conapo). Las principales actividades económicas son la agricultura de temporal y la cría de ganado de traspato. El cultivo primordial es el maíz; también se siembra frijol y calabaza. Los suelos de esta comunidad tienen muy baja productividad, son pobres en contenido de materia orgánica y otros elementos esenciales para el desarrollo de los cultivos (González *et al.*, 2011). La finalidad de aplicar los biosólidos en los suelos agrícolas de esta zona es mejorar los rendimientos, el ingreso económico y, en consecuencia, el nivel de vida de los productores. La localidad muestra un grado de marginación municipal muy bajo, pero su grado de marginación por localidad es alto (Conapo, 2005). Por otra parte, y de acuerdo con los mapas de pobreza y marginación social elaborados por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval), la localidad presenta un grado de rezago social medio (Coneval, 2005).

La mayor parte de la investigación que se realiza sobre el uso de biosólidos en suelos agrícolas se enfoca al impacto ambiental que puede ser provocado en el suelo. Esto es debido, principalmente, al contenido de elementos potencialmente tóxicos en los biosólidos y al riesgo de su potencial ingreso a las redes tróficas, lo que pone en peligro la salud humana y animal (Granato *et al.*, 2004, He *et al.*, 2005, González *et al.*, 2009, Torri y Lavado, 2009, González *et al.*, 2011). Otros aspectos muy estudiados sobre los efectos del uso de biosólidos en suelos agrícolas son el impacto en las características que determinan la fertilidad del suelo y el desarrollo de las plantas, y los rendimientos en diferentes tipos de cultivos y de suelos (Bañuelos *et al.*, 2007; Odlare *et al.*, 2008; Samaras *et al.*, 2008).

Los impactos de tipo económico y social (positivos o negativos) que la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas puede provocar en los productores, prác-

ticamente no han sido estudiados. A partir de que la fertilidad del suelo es mejorada, en consecuencia, se incrementan la productividad y los rendimientos; por lo tanto, se generan potenciales beneficios económicos y sociales, los cuales tampoco han sido estudiados, lo mismo que los efectos en la calidad de vida de los productores y sus familias. Debido a lo anterior, existe la necesidad de medir estas variables para conformar una visión más completa sobre el impacto que provoca la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas, no solo desde la perspectiva ambiental y edafológica, sino también de la económica y la social.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la magnitud de los beneficios obtenidos por los productores de la comunidad de La Paz Tlaxcolpan por el uso de biosólidos de origen urbano en sus parcelas, desde los puntos de vista económico (mayores rendimientos, mayores ingresos económicos, ahorros) y social (salud, alimentación, vivienda, servicios básicos).

### **Materiales y métodos**

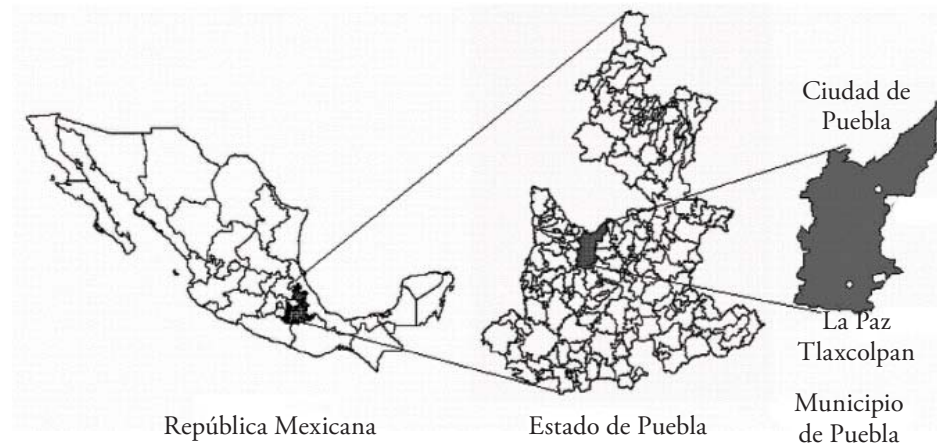
La zona de estudio fue La Paz Tlaxcolpan (18° 54' 21" N, 98° 13' 16" O), comunidad que se encuentra ubicada a quince kilómetros al sur de la ciudad de Puebla (figura 1). En los suelos agrícolas de esta localidad rural se han aplicado biosólidos desde el año 2003, exclusivamente en el cultivo de maíz y con una dosis de 400 t ha<sup>-1</sup>. Aproximadamente treinta productores de la comunidad han aceptado usar biosólidos en sus parcelas (hasta el año 2010); únicamente veinticuatro aceptaron participar en el estudio. Todos fueron entrevistados. La técnica empleada para recoger la información y para medir las variables estudiadas, fue la encuesta. Como instrumento se utilizó un cuestionario (Hernández-Sampieri *et al.*, 2007).

El cuestionario fue de tipo estructurado y estandarizado (García-Córdoba, 2009), todas las preguntas fueron iguales y se aplicaron de manera uniforme a las unidades de observación (productores que utilizan biosólidos en sus terrenos). Las preguntas incluidas en el cuestionario fueron abiertas, cerradas y mixtas. El cuestionario constó de seis apartados: a) Características de la unidad de producción; b) Tecnología de producción agrícola de maíz; c) Aplicación de lodos residuales (biosólidos); d) Beneficios económicos; e) Beneficios sociales y f) Salud.

Por este medio se buscó captar información sobre aspectos tales como los rendimientos obtenidos después de usar biosólidos, cambios en las características del suelo y la planta observados por los productores, ingresos económicos,

ventajas y desventajas del uso de biosólidos. Se sistematizó y analizó la información a través de una precodificación y codificación posterior; se realizó la captura electrónica y análisis estadístico de los datos contenidos en los cuestionarios aplicados. La información se procesó con el programa *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS), versión 15.

Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

## Resultados

### *Características de los productores*

En el cuadro 1 se muestran algunas de las características de los productores encuestados, en lo referente al sexo, edad, escolaridad, número de parcelas y superficie total que poseen. También se les preguntó sobre otros rubros para ampliar su caracterización. Se les inquirió sobre si los recursos generados por su actividad agrícola les eran suficientes para el sostenimiento de su familia, a lo que el 66.7% respondió que no y el 33.3% que sí. En concordancia con la pregunta anterior, se les cuestionó si realizaban alguna otra actividad diferente de la agrícola que les proporcionara recursos económicos, a lo que el 87.5% respondió que sí y el restante 12.5%, que no. De los productores que se dedican a otra actividad el 55.5% dijo trabajar como albañil y el 35.5% en la ganadería de traspatio. Al 38.1% de los productores encuestados, estas actividades les proporcionan el 50% de su ingreso familiar necesario y para el 19% representan el 80% del ingreso necesario.





Cuadro 1. Características de los productores de La paz Tlaxcolpan, Puebla

Edad (años)	%	Escolari- dad	%	No. de parcelas que poseen	%	Superficie total que poseen (ha)	%
30-39	8.3	No asistió	29.2	1	33.3	Menos de 1	12.6
40-49	8.3	Primaria inconclusa	45.8	2	25.0	1.0-3.0	79.1
50-59	45.8	Primaria terminada	12.5	3	37.5	3.1-4.0	4.2
60-69	4.2	Secundaria terminada	12.5	Más de 3	4.2	Más de 4	4.2
70-79	29.2						
80-89	4.2						
Total	100.0	Total	100.0	Total	100.0	Total	100.0

Fuente: elaboración propia.

### *Tecnología de producción agrícola*

Respecto a las labores de preparación del terreno, siembra y labores de cultivo, todos los productores entrevistados emplean las mismas prácticas. Para la preparación del terreno siguen la secuencia: barbecho, preparación del terreno con rastra, surcado y siembra; esta última la realizan en los meses de mayo-junio y usan semilla criolla. Las labores de cultivo que realizan son: primera labor, primer desyerbe; segunda labor, segundo desyerbe. El 54.2% aplica herbicidas y el restante 45.8%, no. Todas estas labores las llevan a cabo entre los meses de junio y septiembre. La cosecha la hacen entre los meses de noviembre y diciembre. En cuanto al empleo de fertilizantes minerales, el cuadro 2 muestra los resultados. El 45.8% de los productores no fertiliza sus cultivos. Los productores que fertilizan sus cultivos usan urea y la aplican al pie de cada mata en la primera labor en una cantidad promedio de 200 kg ha<sup>-1</sup>. En lo que respecta a la utilización de abonos orgánicos, únicamente el 33.3% lo utiliza en sus cultivos, generalmente es estiércol de vaca y lo aplican cada año. Los productores emplean tanto tracción animal como tracción mecánica en sus labores.

Cuadro 2. Tecnología de producción agrícola en la comunidad de La paz Tlaxcolpan, Puebla

Fertilización	%	Tipo de tracción empleada	%
Siempre	20.8	Yunta propia	20.8
A veces	33.3	Yunta rentada	4.2
Nunca	45.8	Tractor rentado	25.0
		Tractor rentado y yunta rentada	29.2
		Tractor rentado y yunta propia	16.7
		Tractor propio y yunta propia	4.2
Total	100.0	Total	100.0

Fuente: elaboración propia.

### *Uso y manejo de biosólidos por los productores*

El manejo que los productores dan a los biosólidos va de acuerdo con las instrucciones que recibieron del SOAPAP. La dosis recomendada por esta institución fue de 400 t ha<sup>-1</sup> para el cultivo de maíz exclusivamente, sin aplicación de fertilizante mineral. El cuadro 3 muestra los motivos, expresados por los productores, por los cuales se convencieron de usar biosólidos en sus parcelas y la cantidad de parcelas en las cuales los aplican.

Cuadro 3. Motivos expresados por los productores, que los convencieron para usar biosólidos y número de parcelas destinadas para aplicarlos

Motivos	%	Superficie en la cual aplican biosólidos (ha)	%
Plática informativa del SOAPAP	62.5	Menos de 1	29.2
Parcela demostrativa del SOAPAP	12.5	1-2	58.3
Observó los beneficios en otras comunidades que usaron biosólidos	16.7	Más de 3	12.5
Observó a sus vecinos aplicarlo y los rendimientos obtenidos	8.3		
Total	100.0	Total	100.0

Fuente: elaboración propia.



Cuando se les preguntó a los productores si sabían la cantidad de biosólidos que habían aplicado en sus parcelas, el 79.2% respondió que no y el resto contesto que sí. Respecto a cuándo incorporan o revuelven los biosólidos con el suelo después de que son depositados en sus terrenos, los resultados se observan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Incorporación de biosólidos al suelo después de depositarlos

¿Cuándo incorpora?	%	¿Por qué hasta esa fecha?	%
Al mes	4.2	Espera a que seque. Terreno fangoso. Tractor se atasca	79.2
A los dos meses	16.7	Alternan el sembrado de sus terrenos	16.7
A los tres meses	41.7	Espera a que se disuelvan los terrones de lodo seco	4.2
A los seis meses	20.8		
Al año	12.5		
Lo deja en la superficie y no lo incorpora	4.2	Tractor propio y yunta propia	4.2
Total	100.0	Total	100.0

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 5. Cambios notados por el productor  
en suelo y planta de maíz por el uso de biosólidos

Suelo	%	Planta	%	Desventajas	%
Color gris-negro Más suave y poroso	83.3	Mayor altura Tallo más grueso	54.2	Ninguna	45.8
Suelo más duro	4.2	Mayor altura Color más verde	41.7	Olor desagradable	25.0
Suelo más grueso	4.2	Ningún cambio	4.2	Necesita más agua	12.5
Absorbe más agua	4.2			Tiempo de espera para que seque	12.5
Sin cambio	4.2			Crece mayor can- tidad de yerba	4.2
Total	100.0	Total	100.0	Total	100.0

Fuente: elaboración propia.



En otro rubro, al 58.3% de los productores encuestados, las labores de cultivo en los suelos con biosólidos le parecen más fáciles que en terrenos sin biosólidos. Al 12.5% restante le parecen más difíciles las labores en terrenos con biosólidos. En el cuadro 5 se observan los resultados obtenidos de las preguntas formuladas a los productores sobre cuáles eran los cambios que ellos han notado, tanto en las características del suelo como en las de la planta de maíz, por el uso de biosólidos. También se muestran las principales desventajas de usar biosólidos, observadas por los productores.

### **Beneficios económicos por el uso de biosólidos**

En cuanto al impacto que el uso de biosólidos ha ocasionado en la economía de los productores y sus familias, se encontró que el 91.7% considera mayores sus cosechas después de usar biosólidos y el 8.3% estima que no hubo cambio en los rendimientos. En el cuadro 6 se observan los porcentajes de incremento en los rendimientos de las parcelas con biosólidos, de acuerdo con datos proporcionados por los productores. El productor reparte la cosecha en varios rubros. Los porcentajes que destina normalmente para la alimentación de su familia, para la venta, para la alimentación de sus animales y para la semilla del próximo ciclo de cultivo, se observan en el cuadro 6. De los productores que venden parte de su cosecha, el 66.6% considera sus ingresos económicos más altos. El restante 33.3% considera que no hay cambio.

Respecto a los beneficios obtenidos por los productores que manifestaron conseguir mayores ingresos económicos por venta de cosecha, se encontró lo siguiente: ninguno adquirió terrenos en compra o renta, solamente uno adquirió animales; ninguno realizó alguna mejora en su vivienda, uno adquirió servicio telefónico, uno compró herramientas de labranza y uno ahorró. En lo referente a la cantidad de cosecha dedicada para la alimentación de animales, el 45.8% de los productores dedica un 10% de su cosecha a este rubro. Un 25% no tiene animales y por lo tanto no destina cosecha para esta actividad.

En cuanto al incremento en la producción de rastrojo después de la aplicación de biosólidos, para el 28% ha sido mucho, para el 54.2% se incrementó poco, el 8.3% opinó que nada y un 16.7% no sabe. A la pregunta de si el incremento en la producción de rastrojo lo beneficiaba de alguna manera, el 70.8% de los productores respondió que no. El 29.2% dijo que sí. A este último porcentaje de productores, se le preguntó cómo lo beneficiaba el incremento en la producción de rastrojo, a lo que respondieron lo siguiente: el 71.4% manifestó que tenía más

Cuadro 6. Incremento en los rendimientos de las parcelas  
con biosólidos y destino que el productor da a la cosecha

Porcentaje incremento rendimiento	Porcentaje destinado alimentación animales	Porcentaje destinado venta	Porcentaje destinado alimentación animales	Porcentaje destinado para semilla	%
0	8.3	40-50	8.4	0	66.7
25	4.2	51-60	8.4	10	20.8
33	12.5	61-70	12.5	20	4.2
40	4.2	71-80	45.8	30	4.2
50	25.0	81-90	16.7	40	4.2
60	8.3	91-100	8.4		
100	16.7				
150	8.3				
Más de 400	12.5				
Total	100.0	Total	100.0	Total	100.0
				Total	100.0

Fuente: elaboración propia.

alimento y por más tiempo para sus animales; un 14.2% dijo que ahorraba dinero en la compra de alimento para sus animales y otro 14.2% dijo que vendía más rastrojo.

### **Beneficios sociales por el uso de biosólidos**

En lo referente a la alimentación de los productores y sus familias, se les preguntó si el incremento en sus rendimientos había influido en sus hábitos alimenticios. El 58.3% manifestó que no. El 41.7% dijo que sí. Esta última porción de productores dijo que la modificación consistía en mayor cantidad de la alimentación habitual. No incorporaron alimentos nuevos. En cuanto a servicios como agua potable y energía eléctrica, el 95.8% de los productores manifestó contar con ellos antes de usar biosólidos en sus terrenos. Un 4.2% dijo carecer de ellos. Por lo que respecta a drenaje, el 8.3% dijo contar con el servicio y el 91.7% dijo que no. Por otra parte, un 91.7% ya usaba gas L. P. para las necesidades del hogar y el 8.3% no contaba con él.

Para el servicio telefónico, el 29.2% dijo contar con él y el 70.8% manifestó que no. Para el caso del servicio de Internet, el 95.8% no contaba con él y el 4.2% dijo que sí. Se les preguntó si el obtener mayores rendimientos en sus cosechas les había ayudado adquirir algún servicio del que carecían. Un 91.7% dijo que no y un 8.3% dijo que sí. Este 8.3% pudo obtener servicio de agua potable, energía eléctrica y teléfono gracias a sus mayores rendimientos.

Los mayores rendimientos obtenidos no lograron que algún productor hiciera mejoras en su vivienda y solamente uno pudo adquirir muebles para su casa como producto de sus mayores rendimientos (una sala).

En el tema de la salud, el 45.8% prefiere utilizar servicios de salud privados y el 54.2% prefiere los servicios de salud públicos. A los productores que prefieren utilizar los servicios de salud privados se les inquirió de donde obtenían los recursos económicos para sufragar los gastos inherentes. El 63.6% vende algún animal y solamente el 9.1% cubre este gasto con recursos provenientes de la cosecha. Al preguntarles a los productores si el SOAPAP les había explicado la existencia de riesgos para su salud por el contacto físico con los biosólidos, el 70.8% respondió que no y el restante 29.2% contestó que sí. El 100% de los productores encuestados respondió negativamente a la pregunta de si él o algún miembro de su familia se habían enfermado a partir del contacto con los biosólidos. No tuvieron infecciones de la piel ni gastrointestinales.

La estimación del beneficio general proporcionado por usar biosólidos en sus terrenos, de acuerdo con la perspectiva de los productores, fue la siguiente: el 20.8% dijo que el beneficio ha sido mucho, el 75% dijo que el beneficio ha sido poco y un 4.2% dijo no existe ningún beneficio. El 100% de los productores dijo estar de acuerdo en continuar usando biosólidos en sus parcelas.

## Discusión

Respecto a la edad de los productores, se encontró que veinte de los veinticuatro productores tienen entre cincuenta y cincuenta y nueve años. Los productores entre setenta y setenta y nueve años son los siguientes en número. Esta situación indica la existencia de dos generaciones de productores claramente marcadas. La de los padres (generación que se extingue) y la de los primogénitos, que es la generación que está creciendo en número. Es importante señalar que entre los productores entrevistados no existe ninguno menor de treinta años, lo cual podría indicar que las generaciones más jóvenes presentan la tendencia de buscar otros medios de subsistencia diferentes a la actividad agropecuaria.

El nivel de escolaridad encontrado en los productores es bajo. El resultado podría esperarse porque la localidad tiene un grado de marginación alto de acuerdo con Conapo (2005); entre las dimensiones socioeconómicas que integran el índice de marginación que maneja esta institución se encuentra el de la educación y la residencia en localidades pequeñas. Otra situación encontrada entre los productores encuestados es la fragmentación en la tenencia de la tierra. La mayoría (17) posee entre una y dos parcelas; seis de ellos poseen tres parcelas y únicamente un productor dijo tener cinco parcelas. Esto corresponde a la superficie total que poseen. La mayoría tiene entre una y dos hectáreas, le siguen en número los que tienen entre dos y tres hectáreas. Dos poseen más de tres hectáreas, uno de ellos es dueño de más de cuatro.

La fragmentación en la posesión de la tierra contribuye a que los beneficios por el uso de biosólidos en sus terrenos sean imperceptibles. El problema de la baja productividad de los suelos, sumado al de la fragmentación en la posesión de la tierra, agrava el problema de los bajos rendimientos que obtienen los productores de la localidad y en consecuencia sus ingresos económicos son bajos. Esta conjunción de factores, obliga a los productores con menor cantidad de superficie agrícola a buscar otras fuentes de ingreso. El 66.7% de los productores encuestados dijo que la actividad agrícola no le proporcionaba los recursos suficientes para el sostenimiento de su familia. El trabajo como albañil y la cría de



animales de traspatio son las principales actividades a las que se dedican como fuente exterior de ingresos y representan entre un 50% y un 80% de su ingreso familiar necesario.

Respecto a la tecnología de producción agrícola, el punto más sobresaliente es la fertilización que realizan los productores en sus parcelas. La urea fue el fertilizante que dijeron emplear preferentemente. En primera instancia, podría pensarse que el uso de biosólidos traería como consecuencia un ahorro, debido a que ya no sería necesario comprar fertilizante. Sin embargo, se presenta una situación diferente. Casi la mitad de los productores encuestados (11), nunca fertiliza sus cultivos. La razón que argumentaron fue la falta de recursos económicos. Ocho productores dijeron fertilizar ocasionalmente y únicamente cinco productores siempre fertilizan sus parcelas. Los datos muestran que el ahorro por compra de fertilizante solamente beneficia a una pequeña parte de los productores encuestados: a los que siempre han fertilizado. Para los demás y, sobre todo, para quienes nunca fertilizan, ese ahorro es inexistente. Sin embargo, ahora cuentan con una fuente de nutrientes gratuita para sus terrenos: los biosólidos.

Es de destacar que los biosólidos llegaron a esta localidad por iniciativa del SOAPAP. De los veinticuatro productores encuestados, dieciocho aceptaron utilizar biosólidos en sus parcelas después de asistir a los eventos organizados y promovidos por el SOAPAP, los cuales fueron una plática informativa sobre el uso, manejo y beneficios de los biosólidos como mejoradores de suelos agrícolas y una parcela demostrativa en un cultivo de maíz. De lo anterior se puede deducir el interés de esta institución en que los productores usen los biosólidos en sus suelos. De esta manera está encontrando un método de disposición final para estos residuos urbanos; este interés puede ser aprovechado y canalizado para realizar esta práctica sobre una base de conocimientos surgidos de la investigación científica y de las experiencias de los productores.

Otra situación que influye en la percepción de si existen o no beneficios por el uso agrícola de los biosólidos, es la cantidad de superficie que los productores destinan a su aplicación. Siete de los productores los aplican a menos de una hectárea; la mayoría, a una o dos hectáreas y solamente tres lo aplican a más de tres hectáreas. Los beneficios serán más visibles en los últimos tres productores al destinar más superficie a la aplicación de biosólidos.

Otro aspecto a destacar, es que diecinueve de los productores (79.2%) dijeron ignorar la cantidad de biosólidos que se depositan en sus parcelas. El resto manifestó conocer la cantidad que se depositaba en número de camiones de biosólidos. Quienes aplicaron biosólidos en dos hectáreas dijeron que depositaron entre treinta y cincuenta camiones. Considerando que la capacidad del camión



es de 14 m<sup>3</sup> y la densidad de los biosólidos es de 1.1 t m<sup>-3</sup>, se depositaron entre 210 y 350 toneladas de biosólidos por hectárea. Esta situación es una manifestación clara de que la aplicación de biosólidos en la zona de La Paz Tlaxcolpan se hace de manera ineficiente e inadecuada y muestra la enorme necesidad aplicar una estrategia de manejo integral de los biosólidos en esta comunidad.

Otro aspecto importante en el manejo de los biosólidos es el tiempo para su incorporación al suelo. Debido a la consistencia del lodo deshidratado proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales (chiclosa y pegajosa), los vehículos se atascan y la distribución e incorporación por medio de tractor es prácticamente imposible de realizar. Por esta razón los productores deben esperar hasta que sequen los biosólidos antes de poder distribuirlos y mezclarlos con el suelo. Lo apuntado es otra situación que ejemplifica la necesidad de que existan lineamientos claros respecto al manejo de los biosólidos. Los periodos de espera para que sequen los biosólidos van desde un mes hasta un año. La mayoría de los productores esperan entre dos y seis meses. Para los productores que poseen menos de dos hectáreas la situación resulta problemática y desventajosa cuando los aplican por primera vez, debido al tiempo que deben esperar para trabajar sus parcelas, con el consecuente perjuicio económico.

La deposición de los biosólidos debería estar en función del clima de la zona. Ser depositados en los meses de estiaje y no en época de lluvias. Ello reduciría y estandarizaría los tiempos de espera para incorporarlos al suelo. Para los productores que cuentan con una sola parcela y en ella aplican biosólidos, la situación se torna muy problemática. Para quienes poseen varias parcelas puede resultar menos complicado que una parcela esté sin producir en espera de que sequen los biosólidos.

Por otra parte, catorce de los veinticuatro productores entrevistados, manifestaron que las labores de cultivo son más fáciles en suelos con biosólidos; lo que se relaciona directamente con los cambios observados en el suelo por los mismos productores, principalmente el cambio en la textura del suelo. Veinte de los veinticuatro productores encuestados opinaron que el suelo es más suave y poroso. Es uno de los beneficios que los biosólidos aportan al suelo (Gavalda *et al.*, 2005). Respecto a los cambios que han notado en la planta de maíz, veintitrés de los veinticuatro productores opinaron positivamente a este respecto. De acuerdo con lo observado por ellos la planta es más alta, más verde, tallo más grueso, hoja más ancha y la mazorca más grande. Las observaciones estarían confirmando que los biosólidos son fuente de nutrientes que producen un mejor desarrollo de la planta de maíz y justifican su uso en suelos agrícolas (De las Heras *et al.*, 2005).

En lo referente a las desventajas encontradas por los productores en el uso de biosólidos, once de los entrevistados dijeron no encontrar ninguna; el principal inconveniente encontrado por los productores restantes fue el olor desagradable propio de los biosólidos. Al respecto, Schiffman y Williams (2005), afirman que los malos olores se consideran signos de alerta de potenciales riesgos a la salud humana, pero que no necesariamente tiene efectos directos en ella. Otra desventaja observada por los productores, y que debe ser considerada en el uso agrícola de biosólidos, es la gran cantidad de yerba o maleza que crece en los suelos con biosólidos. Esto llevaría a un gasto extra para aplicar herbicidas o labores extras de desyerbe. El tiempo necesario para que los biosólidos sequen es otra desventaja que lleva implícitas pérdidas económicas para los productores durante la primera aplicación.

Para evaluar si los productores realmente están obteniendo beneficios económicos al utilizar biosólidos en sus parcelas, es necesario estimar los rendimientos que han conseguido después de aplicarlos. A este respecto, veintidós de los veinticuatro productores entrevistados manifestaron haber obtenido mayores rendimientos (Hernández-Herrera *et al.*, 2005). Esto significa que la gran mayoría se ha beneficiado en este aspecto. Sin embargo los porcentajes de incremento en los rendimientos son muy variables de acuerdo con las respuestas. Diecisiete de los productores incrementaron sus rendimientos en un 50% o más y los siete restantes un 40% o menos. Dos productores dijeron no tener ningún incremento. La variación puede deberse a factores como: la época de aplicación de los biosólidos y el tiempo de incorporación.

Aunque casi todos los productores reportan incrementos en sus rendimientos, el beneficio económico que esto les puede representar, está en función de la cantidad de cosecha que destinen a la venta. De acuerdo con la información obtenida, un gran porcentaje se destina a la alimentación de la familia. Los datos muestran que la agricultura de la comunidad es, principalmente, de subsistencia. Once productores destinan entre un 70-80% para este rubro, lo que deja solamente un 20-30% para venta y para semilla. La cantidad para la familia va en función del tamaño de la misma. En cuanto al porcentaje que los productores entrevistados dejan para la venta, se encontró que la mayoría (16) no destina ninguna cantidad de su cosecha a la venta. Únicamente tres venden el 20% o más de su cosecha. La situación implica que la mayoría de los productores no obtengan ingresos económicos pese a que sus rendimientos son más altos. El beneficio por mayor cantidad de cosecha se percibe en otros rubros y no en un mayor ingreso económico.



De los productores que dijeron destinar mayor cantidad de cosecha a la venta, tampoco experimentaron un elevado beneficio económico, considerando como indicadores, la mejora de la vivienda, la adquisición de servicios y el ahorro. Los mayores ingresos solamente sirvieron para adquirir servicio telefónico en un caso; adquisición de herramientas de labranza en otro y solamente uno ahorró alguna cantidad de dinero. El ingreso de mayor cantidad de dinero al productor por mayores rendimientos y venta de cosecha no parece ser un beneficio tangible para los productores de La Paz Tlaxcolpan debido, principalmente, a que la mayoría o la totalidad de su cosecha la destinan a la alimentación de su familia, alimentación de sus animales y para semilla, rubros prioritarios para el productor.

Otro aspecto en el cual podría manifestarse el beneficio económico tomando como base el incremento de los rendimientos, es la producción de rastrojo que se da a partir de la utilización de biosólidos. En principio, los productores, en su mayoría, opinaron que el incremento en la producción de rastrojo es poco o ninguno. Pero, aunque haya existido algún incremento, el beneficio de esto solo es experimentado por los productores que crían animales y, particularmente, por aquellos que poseen más superficie y, por lo tanto, se hallan en posibilidad de destinar más terreno al uso de biosólidos. De acuerdo con esto, la mayor producción de rastrojo solo beneficiaría económicamente a quienes lo recogen y lo venden y significaría un ahorro para quien cría animales y lo necesita para alimentarlos, ya que al contar con mayor cantidad de rastrojo pasaría más tiempo antes de necesitar comprarlo o llegaría la siguiente cosecha y ya no habría necesidad de adquirirlo. Esta situación explicaría la respuesta de los productores a la pregunta de si la mayor producción del rastrojo los beneficiaba de alguna manera. El 70.8% respondió negativamente.

Por otra parte, los hábitos alimenticios de los productores y sus familias no se modificaron a partir de que obtuvieron mayores rendimientos en sus parcelas. Más de la mitad dijo que no habían cambiado su alimentación y la otra parte manifestó que solamente comían más de su alimentación habitual. Es en esta última porción de productores en donde se ve reflejado el beneficio de los mayores rendimientos. A pesar de que dijeron no haber incorporado alimentos nuevos en su dieta ni comer carne con más frecuencia (normalmente lo hacen una vez por semana o cada quince días), el hecho de aumentar la cantidad de alimentos que consumen habitualmente es muy importante para ellos.

El que los productores obtengan mayores rendimientos tampoco se ve reflejado en el rubro de servicios básicos. En principio, veintitrés de ellos dijeron contar con agua potable y energía eléctrica; veintidós, usan gas para cocinar; siete cuentan con servicio telefónico y uno dijo contar con servicio de Internet. Todo

lo anterior es antes de usar biosólidos en sus parcelas. Prácticamente toda la comunidad carece de drenaje. Únicamente dos productores dijeron haber contratado alguno de los servicios anteriores después de utilizar biosólidos y lograr mayores rendimientos. Uno de ellos pudo adquirir energía eléctrica, agua potable y servicio telefónico y el otro el servicio telefónico. Nuevamente, la explicación a esta situación parece ser la cantidad de superficie cultivable que poseen los productores de la localidad. Ambos productores son de los que poseen un mayor número de parcelas, mayor superficie de cultivo y, por lo tanto, emplean más áreas de terreno para el uso de biosólidos y obtienen altos rendimientos. También son de los que dedican mayor cantidad de cosecha para venderla, con lo que consiguen ingresos monetarios, ello les permitió adquirir estos servicios.

En cuanto a modificaciones o mejoras hechas a la vivienda, todos los productores respondieron negativamente. Incluso los productores con más cantidad de superficie cultivable, mayores rendimientos y altos ingresos económicos tampoco alcanzaron este beneficio. En la obtención de mobiliario para la vivienda, solamente un productor logró adquirir un juego de sala, con los ingresos a partir de sus rendimientos. Cabe señalar que este productor cuenta únicamente con dos hectáreas de superficie de cultivo y destina las dos para usar biosólidos.

Respecto a la indagación sobre la preferencia de los servicios médicos, se encontró que la mayoría (13) prefiere los servicios públicos de salud. Siete productores y sus familias utilizan ambos servicios. Estos siete productores dijeron cubrir los gastos por servicios de salud privados, cuando así lo requieren, con la venta de algún animal de corral. Estos productores destinan entre 5-20% de su cosecha para alimentar a sus animales. En consecuencia, los mayores rendimientos obtenidos por usar biosólidos, los benefician de algún modo porque poseen una cantidad más alta de grano para alimentarlos por más tiempo. Aunque solamente uno de estos siete productores dijo utilizar el rastrojo producido para alimentar a sus animales.

Por otra parte, cuatro de los productores prefieren totalmente los servicios privados de salud por considerarlos de mejor calidad que los públicos. De estos cuatro productores, dos de ellos dijeron sufragar los gastos por venta de algún animal y otro por venta de su cosecha. En tres casos, los rendimientos por usar biosólidos beneficiaron a los productores de algún modo. Porque tienen suficiente alimentación para sus animales y porque la mayor cosecha les permite vender una parte para acudir a los servicios de salud de su preferencia. El cuarto productor dijo cubrir los gastos por asistir a servicios privados de salud con lo que gana trabajando como albañil.

En lo concerniente a los riesgos para la salud del productor y su familia por entrar en contacto con los biosólidos en las parcelas cuando las laboran, la mayoría de los entrevistados (17) dijo no haber recibido ninguna plática explicativa por parte del SOAPAP, sobre los riesgos que podrían existir. Esto demuestra la necesidad de contar con un cuerpo de conocimientos más completo sobre los efectos de los biosólidos cuando son aplicados al suelo y la necesaria existencia de programas de capacitación para el productor. Se les preguntó si ellos, o algún miembro de su familia, se había enfermado o manifestado algún síntoma a partir del uso de biosólidos en sus terrenos. La respuesta en todos los casos fue negativa. Sin embargo, la parte de los efectos de los biosólidos en la salud de los productores requiere de estudios más profundos y detallados que proporcionen la información científica que de mayor certeza sobre los riesgos que pueden presentarse para la salud humana y animal en la localidad.

Sobre la percepción general de los productores acerca de los beneficios de usar biosólidos, englobando todos los aspectos tratados anteriormente, la mayoría (18) estima que el beneficio es poco, cinco productores consideran que el beneficio es mucho y un productor dijo que no existe ningún beneficio. Cabe señalar que entre los que opinaron que el beneficio es mucho se encuentran quienes poseen más superficie de cultivo y destinan más superficie a la aplicación de biosólidos.

## Conclusiones

La aplicación de biosólidos como mejoradores de suelos agrícolas en la localidad de La Paz Tlaxcolpan, incrementa los rendimientos de las parcelas que los productores destinan para esta práctica. El rendimiento total y las ganancias económicas que obtienen los productores guardan relación directa con la cantidad de superficie de cultivo que poseen. El beneficio económico es muy variable para los distintos productores.

Quienes poseen mayor cantidad de superficie cultivable pueden aplicar biosólidos a una superficie amplia, obtener altos rendimientos, destinar mayor cantidad de cosecha a la venta y obtener ingresos económicos. También pueden destinar mayor cantidad de cosecha para la alimentación de sus animales. Los productores que poseen menos de dos hectáreas de superficie cultivable, no experimentan beneficio económico alguno.

Los beneficios de tipo social que el incremento en los rendimientos de sus parcelas proporcionan a los productores es mínimo y se da, especialmente, en quienes poseen una superficie de cultivo mucho más extensa. Las ganancias per-



mitieron a algunos de estos productores contratar servicios como energía eléctrica, agua potable y teléfono. Para la mayoría de los productores los incrementos en los rendimientos solo los han beneficiado en cuanto a su alimentación, al poder aumentar de cantidad su dieta normal. En el aspecto de salud y vivienda, no existe beneficio alguno para ningún productor.

De manera general, en opinión de todos los productores entrevistados de la localidad, los beneficios por el uso de biosólidos son mínimos. Uno de los factores que influye en que los rendimientos no sean mejores, es el manejo inadecuado, ineficiente y prácticamente improvisado de los biosólidos, que hacen conjuntamente los productores y el SOAPAP. Existe la necesidad de volver más técnica, científica y profesional la práctica de aplicar biosólidos de origen urbano como mejoradores de suelos agrícolas de temporal; no únicamente con el fin de incrementar la productividad de los suelos agrícolas, sino de evitar riesgos de orden ambiental y de salud humana y animal.

### Agradecimiento

Los autores agradecen la invaluable participación y el aporte fundamental del Dr. Mario Alberto Tornero Campante, profesor-investigador del Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, en la realización de esta investigación.

### Bibliografía

- Andrade, M. L. *et al.* (2000) "Contenido, evolución de nutrientes y productividad en un suelo tratado con lodos residuales urbanos" *Edafología*. Volumen 3, número 7, pp. 21-29.
- Bañuelos, G. S. *et al.* (2007) "Long-term Application of Biosolids on Apricot Production" *Communications Soil Science Plant Analysis*. Número 38, pp. 1533-1549.
- Basta, N. T., Ryan, J. A. y R. L. Chaney (2005) "Trace Element Chemistry in Residual-treated Soil: Key Concepts and Metal Bioavailability" *Journal of Environmental Quality*. Número 34, pp. 49-63.
- Conagua (2011) *Estadísticas del agua en México*. México, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Conapo (2005) *Índices de marginación 2005*. México, Consejo Nacional de Población.
- Coneval (2005) *Mapas de pobreza por ingresos y rezago social*. México, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- De las Heras, J., Mañas, P. y J. Labrador (2005) "Effects of Several Applications of Digested Sewage Sludge on Soil and Plants" *Journal of Environmental Science Health Part A*. Número 40, pp. 437-451.

- Fischer-Kowalski, M. (2002) "El metabolismo de la sociedad sobre la infancia y adolescencia de una naciente estrella conceptual" en M. Redclift y G. Woodgate (eds.), *Sociología del medio ambiente. Una perspectiva internacional*. Madrid, McGraw-Hill.
- Galafassi, G. (1993) "La relación medioambiente-sociedad: algunos elementos para la comprensión de su complejidad" *Revista Paraguaya de Sociología*. Año 30, número 86, pp. 16-30.
- García-Cordoba, F. (2009) *El cuestionario*. México, Limusa.
- Gavalda, D. (2005) "Agronomic and Environmental Impacts of a Single Application of Heat-dried Sludge on an Alfisol" *Science of Total Environment*. Número 343, pp. 97-109.
- González de Molina, M. (2010) "Sociedad, naturaleza, metabolismo social. Sobre el estatus teórico de la historia ambiental" en R. Loreto-López (ed.), *Agua, poder urbano y metabolismo social*. México, Colección: Estudios urbanos y ambientales, Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades "Alfonso Vélaz Pliego", BUAP.
- González, F. E. *et al.* (2011) "Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal" *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Volumen 4, número 27, pp. 291-301.
- (2009) "Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano" en *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Volumen 1, número 25, pp. 15-22.
- Granato, T. C. *et al.* (2004) "Trace Element Concentrations in Soil, Corn Leaves and Grain after Cessation of Biosolids Applications" *Journal of Environmental Quality*. Número 33, pp. 2078-2089.
- He, Z. L., Yang X. E. y P. J. Stofella (2005) "Trace Elements in Agroecosystems and Impacts on the Environment" *Journal of Trace Elements Medical Biology*. Número 19, pp. 125-140.
- Hernández-Herrera J. M. *et al.* (2005) "Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizante químico en el cultivo de sorgo forrajero" *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Volumen 1, número 21, pp. 31-36.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y P. Baptista-Lucio (2008) *Metodología de la investigación*. Cuarta edición, México, McGraw-Hill.
- McBride, M. B. (1995) "Toxic Metal Accumulation from Agricultural Use of Sludge: Are USEPA Regulation Protective" *Journal of Environmental Quality*. Número 24, pp. 5-18.
- Nebel, B. J. (1999) *Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible*. México, Prentice Hall/Pearson.
- O'Connor, G. A. *et al.* (2005) "Sustainable Land Application: An Overview" *Journal of Environmental Quality*. Número 34, pp. 7-17.
- Odlare, M., Pell, M. y K. Svensson (2008) "Changes in Soil Chemical and Microbiological Properties During 4 Years of Application of Various Organic Residues" *Waste Management*. Número 28, pp. 1246-1253.
- Renner, R. (2000) "Sewage Sludge, Pros & Cons" *Environmental Science & Technology*. Número 34, pp. 1-19.



- Samaras, V., Tsadilas, C. D. y S. Stamatiadis (2008) "Effects of Repeated Application of Municipal Sewage Sludge on Soil Fertility, Cotton Yield and Nitrate Leaching" *Agro-nomy Journal*. Número 100, pp. 477-483.
- Schiffman, S. S. y C. M. Williams (2005) "Science of Odor as a Potential Health Issue" *Journal of Environmental Quality*. Número, 34, pp. 129-138.
- Singh, R. P. y M. Agrawal (2008) "Potential Benefits and Risks of Land Application of Sewage Sludge" *Waste Management*. Número 28, pp. 347-358.
- Semarnat (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-004-Semarnat-2000. *Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*. Diario Oficial de la Federación. 15 de agosto de 2002.
- Toledo V. M. (2008) "Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza" *Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica*. Volumen 1, número 7, pp. 1-26.
- Toledo, V. M. y M. González de Molina (2007) "El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza" en F. Garrido (ed.), *El paradigma ecológico en las ciencias sociales*. Barcelona, Icaria.
- Torres, C. G. (2001) *Introducción a la economía política ecológica*. México, Universidad Autónoma Chapingo-Plaza y Valdés.
- Torri S. y R. Lavado (2009) "Plant Absorption of Trace Elements in Sludge Amended Soils and Correlation with Soil Chemical Speciation" *Journal of Hazards Materials*. Número 166, pp. 1459-1465.