

**inifap**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

# **USO DE BIOSÓLIDOS EN LA NUTRICION DEL NOGAL PECANERO**



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE-CENTRO**

**CAMPO EXPERIMENTAL DELICIAS**

# Uso de biosólidos en la nutrición del nogal pecanero

Socorro Héctor Tarango Rivero  
Gabriela Tarango Rivero  
María Teresa Alarcón Herrera  
Guadalupe Virginia Nevárez Moorillón  
Erasmus Orrantia Borunda

**inifap**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Folleto técnico No. 29 • 2009

## **DIRECTORIO INSTITUCIONAL**

### **SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN**

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda

*Secretario*

Ing. Francisco López Tostado

*Subsecretario de Agricultura*

Ing. Antonio Ruiz García

*Subsecretario de Desarrollo Rural*

Lic. Jeffrey Max Jones Jones

*Subsecretario de Fomento a los Agronegocios*

### **INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

Dr. Pedro Brajcich Gallegos

*Director General*

Dr. Enrique Astengo López

*Coordinador de Planeación y Desarrollo*

Dr. Salvador Fernández Rivera

*Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación*

Lic. Marcial A. García Morteo

*Coordinador de Administración y Sistemas*

### **CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE CENTRO**

Dr. Homero Salinas González

*Director Regional*

Dr. Héctor Mario Quiroga Garza

*Director de Investigación*

M.C. Manuel Gustavo Chávez Ruíz

*Director de Coordinación y Vinculación Chihuahua*

### **CAMPO EXPERIMENTAL DELICIAS**

Dr. Rodolfo Jasso Ibarra

*Jefe de Campo*

Campo Experimental Delicias, 2009  
km 2 carretera Delicias-Rosales  
Apartado postal 81  
Cd. Delicias, Chihuahua, México, CP 33000  
Tel. 01(639) 472-19-74  
[www.inifap.chihuahua.gob.mx](http://www.inifap.chihuahua.gob.mx)

*Impreso en papel reciclado*

# Uso de biosólidos en la nutrición del nogal pecanero

**inifap**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

## Contenido

1. Introducción.....	5
2. Fertilización del nogal .....	5
3. Biosólidos.....	6
3.1. Clasificación.....	7
3.2. Composición.....	8
3.3. Dosis.....	9
3.4. Riesgos .....	9
4. Metodología .....	10
5. Resultados .....	11
5.1. Crecimiento .....	11
5.2. Rendimiento .....	12
5.3. Calidad.....	12
5.4. Concentración foliar de nutrimentos.....	12
5.5. Concentración de nutrimentos en el suelo .....	15
5.6. Materia orgánica y salinidad .....	18
5.7. Metales pesados en el suelo .....	19
5.8. Metales pesados en la planta.....	21
5.9. Microorganismos en suelo y nuez .....	23
6. Validación .....	25
7. Conclusiones .....	26
AGRADECIMIENTOS.....	27
8. Literatura citada.....	28

# USO DE BIOSÓLIDOS EN LA NUTRICIÓN DEL NOGAL PECANERO

## 1. Introducción

El nogal pecanero *Carya illinoensis* (Wang.) K. Koch es el frutal caducifolio más importante del norte de México, donde hay plantadas 84,429 ha; en el estado de Chihuahua se cultiva en 51,381 ha (SAGARPA 2009). En las nogaleras el fertilizante es el insumo más caro y constituye el 25% del costo de cultivo (Sparks 1991, FIRA 2009). El precio de los fertilizantes seguirá a la alza en los próximos años (Wood 2005).

En las huertas el fertilizante puede sustituirse parcial o totalmente con biosólidos, ya que son una fuente valiosa de nutrimentos y materia orgánica; su incorporación mejora las propiedades físicas, la actividad biológica y la fertilidad de los suelos (Tester 1990, Sullivan 1998). El presente trabajo evaluó los biosólidos como una fuente alternativa de nutrimentos para el nogal pecanero y tuvo como objetivos: a) determinar su eficacia en la nutrición, crecimiento y rendimiento del frutal; y b) cuantificar el efecto del abono en el contenido de nutrimentos, metales pesados y microorganismos patógenos en el suelo y en el fruto de los nogales.

## 2. Fertilización del nogal

Para que este frutal crezca y produzca adecuadamente debe ser abastecido de manera balanceada con los nutrimentos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y boro (B). Cuando un nogal sufre una deficiencia o un desbalance nutrimental su productividad resulta sustancialmente limitada (Sparks 1989, Smith 1991).

El N es el nutrimento requerido en mayores cantidades por el nogal, de su provisión dependen en gran parte el crecimiento de brotes y hojas, el amarre de flores y el llenado de la almendra (Brison 1976, Sparks 1989). La productividad anual y el grado de la alternancia están reguladas por la provisión de N (Wood 2002). Para nogales en producción en suelos aluviales se recomienda aplicar de 150 a 200 kg de N/ha (Herrera 2008); en suelos de regiones semiáridas se requieren hasta 250 kg de N/ha (Núñez 2001). Este árbol necesita cantidades conservadoras

de P, cuyo efecto en el rendimiento no se ha determinado pero tiende a incrementar el peso de la nuez (Sparks 1989, Smith 1991). El K es requerido por el nogal en cantidades bajas, pero es un elemento importante en el crecimiento y llenado del fruto (Smith et al. 1985, Stockton 1985). En regiones semiáridas la dosis de P y K varía de 20 a 60 kg/ha, según su contenido en el suelo (Walworth 2002).

El Ca, Mg y S son macronutrientes denominados secundarios, porque el nogal los consume en cantidades moderadas y los suelos de las regiones semiáridas los proveen con suficiencia (Kilby y Mielke 1982, Sparks 1989). En suelos calcáreos el Zn se encuentra principalmente como carbonatos, una forma química indisponible, por lo cual se aplica al follaje de los nogales (Smith y Storey 1969). El Mn y Cu ocasionalmente aparecen como deficientes y una aplicación foliar con sulfatos es suficiente para abastecerlos; el Fe generalmente es bien absorbido del suelo; el B es provisto con suficiencia y a veces en exceso por el suelo y por el agua de riego (Sparks 1989).

### **3. Biosólidos**

Cuando las aguas residuales son tratadas se genera un subproducto sólido llamado 'lodo residual'. Dicho material se somete a un proceso de estabilización físico-químico-biológico para reducir su concentración de microorganismos patógenos a un nivel seguro, y cuando su contenido de materia orgánica, nutrientes y metales pesados (MP) lo hace adecuado para su aprovechamiento como abono para plantas se denomina 'biosólido' (USEPA 1995, SEMARNAT 2002). En México, si se cumpliera con la reglamentación sobre limpieza del agua a nivel nacional se producirían alrededor de 650,000 t de biosólidos secos por año (Jurado et al. 2004). Actualmente, en el estado de Chihuahua operan seis plantas de tratamiento de agua residual, y cada mes generan la siguiente cantidad de biosólidos en base seca: la 'norte' de la ciudad de Chihuahua 250 t y la 'sur' 350 t (ETM 2007), y las cuatro de Ciudad Juárez 2,330 t (Flores 2007).

En México el tratamiento de aguas residuales crece lenta pero eficazmente (CNA 2006), por lo que la generación de biosólidos se incrementará de manera considerable y con ello la necesidad de desarrollar tecnología para el aprovechamiento racional de dicho recurso (Noyola et al. 2004); específicamente son convenientes estrategias que permitan usar los biosólidos en

el suelo e integrarlos así a los ciclos de transformación de materia y energía de la naturaleza (Torres et al. 2004). Si los biosólidos no se aprovechan o reciclan, su depósito en los rellenos sanitarios conlleva ocupación de espacio, atracción de roedores e insectos vectores, contaminación del suelo y de los mantos freáticos con compuestos orgánicos, microbios patógenos, MP, nitratos y/o sales, y del aire con metano (USEPA 1999); mientras que su incineración contribuye a la polución atmosférica, particularmente con CO<sub>2</sub>, dioxinas y metales en las emisiones (USEPA 1999, Valdez et al. 2006). La incorporación de biosólidos composteados al suelo puede considerarse una tecnología sostenible (Sidhu et al. 2001).

### 3.1. Clasificación

Por su contenido de MP y su posible uso agrícola los biosólidos se clasifican en tres tipos: 1) excelente, cuando el contenido de MP es muy bajo (cuadro 1) y pueden aplicarse sin restricción en cualquier sistema agrícola; 2) bueno, cuando el contenido de MP es bajo y pueden aplicarse en un suelo varios años; 3) no apto, cuando el contenido de algún MP es mayor que el límite permitido en el tipo bueno (USEPA 1995, SEMARNAT 2002).

Cuadro 1. Concentración máxima permisible (en base seca) de metales pesados en biosólidos para uso agrícola en Estados Unidos y México.

Elemento	Tipo	
	Excelente (mg/kg)	Bueno (mg/kg)
Mercurio (Hg)	17	57
Cadmio (Cd)	39	85
Arsénico (As)	41	75
Plomo (Pb)	300	840
Níquel (Ni)	420	420
Cromo (Cr)	1,200	3,000
Cobre (Cu)	1,500	4,300
Zinc (Zn)	2,800	7,500

Adaptado de: USEPA (1995), SEMARNAT (2002).

Por su contenido de microorganismos patógenos y de parásitos para humanos (MPPH), la USEPA (1995) clasifica a los biosólidos en dos clases: 1) A, cuando prácticamente no



contienen MPPH (cuadro 2) y pueden aplicarse sin restricción en cualquier sistema agrícola; 2) B, cuando el contenido de patógenos es igual pero el de parásitos (huevos de helmintos) mayor que en la clase A, pueden usarse en la agricultura pero con restricciones en cuanto al cultivo y al tiempo de espera para la cosecha. En México, la norma oficial NOM-004-SEMARNAT-2002 permite el uso agrícola de biosólidos clase C, cuyo contenido de MPPH es alto (cuadro 2). Los autores del presente trabajo no recomiendan el uso de biosólidos clase C para el abonado de cultivos alimenticios.

Cuadro 2. Indicadores y límites máximos permisibles para la clasificación microbiológica de los biosólidos para uso agrícola en México.

Clase	NMP <sup>1</sup> /g en base seca		
	Coliformes fecales	<i>Salmonella</i>	Huevos viables de helmintos
A	< 1,000	< 3	< 1
B	< 1,000	< 3	< 10
C	< 2,000,000	< 300	< 35

<sup>1</sup>NMP= número más probable.

Adaptado de: SEMARNAT (2002).

### 3.2. Composición

Los biosólidos contienen una gran diversidad de sustancias y microorganismos. Como recurso potencialmente útil como abono agrícola son de interés tres de sus componentes principales: nutrientes, metales pesados y microorganismos patógenos y parásitos (Chaney et al. 1992). Los biosólidos deben ser analizados por un laboratorio certificado y cotejar su composición con la norma oficial NOM-004-SEMARNAT-2002, para decidir si pueden usarse como abono agrícola libre de riesgos.

Los biosólidos tienen un alto contenido de nutrientes (cuadro 3), por lo que son un material adecuado para fertilizar las plantas (Sullivan 1998); son una fuente valiosa de N, P, Zn, Cu, Mn y materia orgánica (Tester 1990, Binder et al. 2002). De manera importante, la mayoría de los nutrientes contenidos en los biosólidos se encuentran en formas químicas fácilmente disponibles para las plantas y son liberados de manera lenta en el suelo; además, son de muy bajo costo (Dennis y Fresquez 1989).

### 3.3. Dosis

La dosis de biosólidos que se aplica a un cultivo depende del N requerido para alcanzar su potencial de rendimiento. Como la mayor parte del N de este material está en forma orgánica, es necesario conocer su tasa de mineralización para inferir sobre su disponibilidad para el cultivo (Lindemann y Cárdenas 1984, Flores 2007). En un cultivo de sorgo sudán *Sorghum bicolor* (L.) Moench en un suelo franco aluvial, Gilmour y Skinner (1999) estimaron una tasa de 40 a 60% el primer año y 18 a 24% el segundo. Para la región semiárida de Chihuahua con una dosis de 10 t/ha de biosólidos se estima un 50% de mineralización del N el primer año en maíz *Zea mays* L. (Uribe et al. 2003). Se considera que el 50% del P, el 40% del S y el 100% del K están disponibles el año de la aplicación (Sullivan 1998).

Cuadro 3. Contenido promedio de nutrimentos en biosólidos de diferente proceso en México.

Elemento	% en peso seco	
	Anaeróbico <sup>1</sup>	Aeróbico <sup>2</sup>
Materia orgánica	37.5	35.2
N	3.8	4.1
P	1.68	3.4
K	0.19	0.12
Ca	3.15	2.7
Mg	0.31	0.27
S	—	1.0
Zn	0.071	0.097
Fe	0.715	0.856
Cu	0.039	0.027
Mn	0.022	0.015

Adaptado de: <sup>1</sup>Uribe et al. (2003), <sup>2</sup>Jurado et al. (2004).

### 3.4. Riesgos

La aplicación de biosólidos a un suelo agrícola implica riesgos como: 1) acumulación de MP y su incorporación a la cadena trófica en concentraciones tóxicas para las plantas, los animales y el hombre; 2) contaminación del suelo y de los productos cultivados por microorganismos patógenos y parásitos; 3) contaminación de mantos freáticos con MP, nitratos o patógenos

(McBride 1995, McGrath et al. 1995); 4) acumulación en el suelo de compuestos potencialmente dañinos como los bifenilos policlorados; 5) salinización del suelo (Chaney et al. 1992); y 6) formación de compuestos metilados de Pb, Hg, As y Se, que son muy tóxicos (Seoáñez 1999).

El aprovechamiento seguro de los biosólidos en la agricultura depende obligadamente de varias acciones: 1) gestión ambiental con bases científicas; 2) legislación responsable y expedita; 3) control del vertido de contaminantes industriales a las aguas residuales; 4) que su procesamiento sea realizado con estrictos estándares técnicos; 5) verificación continua y profesional de su calidad; 6) utilización apegada a las normas técnicas y legales; y 7) seguimiento a largo plazo del impacto ambiental de su uso en los agroecosistemas (McBride 1995, SEMARNAT 2002).

#### **4. Metodología**

El presente estudio se realizó en Delicias, Chihuahua, durante los años 2004, 2005, 2006 y 2008, en la huerta 'Rancho Trincheras', con nogales de la variedad Western, en producción, de ocho años de edad al inicio del trabajo. Los árboles están plantados a una distancia de 12x12 m y cada uno cuenta con un microaspersor de 100 LPH para su riego. El suelo es de textura arena migajonosa, muy pobre en materia orgánica (0.34%), pH= 8.4 y baja salinidad (CE= 0.87 dS m<sup>-1</sup>). Se utilizó un diseño completamente aleatorizado y cuatro repeticiones por tratamiento; cada nogal fue una repetición y los árboles se asignaron a los tratamientos por similitud de diámetro de tronco. Los tratamientos evaluados fueron:

1). Testigo, fertilización convencional. Se utilizó la fórmula 45-15-15 g/cm de diámetro de tronco; el 15 de marzo se aplicó el 50% del N y todo el P y K, y el 15 de mayo el otro 50% del N. Como fuente se usó nitrato de amonio, fosfato monoamónico y nitrato de potasio.

2). Abonado con biosólidos. Se utilizó material de la planta 'norte' de la ciudad de Chihuahua. Para el cálculo de la dosis de biosólido equivalente a 45 g de N/cm de diámetro de tronco, se tomó en cuenta su contenido del nutrimento y de humedad y se consideró una mineralización del 50% del N el primer año. El biosólido se esparció en el área de goteo e incorporó con rastra.

Los análisis químicos de biosólidos, foliolos y suelo y los microbiológicos fueron realizados de acuerdo con las normas oficiales mexicanas respectivas, por laboratorios certificados. El Laboratorio ABC-Química, Investigación y Análisis S.A. de C.V., en México D.F., acreditado por Entidad Mexicana de Acreditación A.C. (EMA). El Laboratorio UNIFRUT, en Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, asociado al Programa de Calidad e Intercomparación de Análisis de Suelo y Planta, del Colegio de Postgraduados y la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. El Laboratorio de Análisis Químicos del Centro de Investigación en Materiales Avanzados, en Chihuahua, Chihuahua, certificado por Entidad Certificadora TUV en la norma ISO 9001:2000. El Laboratorio Regional de Salud Pública del Gobierno del Estado de Chihuahua, acreditado por EMA. Los datos se sometieron a un análisis de varianza según un diseño completamente aleatorizado; se utilizó el paquete estadístico SAS 8.2 (SAS Institute 2001).

## 5. Resultados

### 5.1. Crecimiento

En el nogal en producción el vigor del brote determina la productividad del árbol, pues a mayor longitud más hojas y frutos son formados (Sparks y Heath 1972). En dos de los tres años y en el promedio final los nogales abonados con biosólidos tuvieron un tamaño de brote fructífero significativamente mayor que el de los árboles fertilizados (cuadro 4); en promedio el brote creció un 16% más con el abono orgánico. Esto sugiere que la mineralización del biosólido es suficiente para proveer los nutrimentos que demanda el corto pero intenso periodo de elongación del brote fructífero. El abonado con biosólidos permitió que los nogales tuvieran un tamaño de brote dentro del rango para máxima productividad en la variedad Western, que es de 15 a 30 cm de longitud (Storey 1990).

Cuadro 4. Longitud del brote fructífero (LBF) de nogales abonados con fertilizantes y biosólidos, en tres años. Delicias, Chihuahua.

Tratamiento	LBF (cm)			Promedio <sup>1</sup>
	2004	2005	2006	
Fertilizante	16.7	19.3	12.7	16.2
Biosólido	22.7	23.4	11.9	19.3
Pr>F	0.006	0.012	0.519	0.016

<sup>1</sup>De todas las observaciones de los tres años.

## 5.2. Rendimiento

En cada año de evaluación y en el promedio final la producción de nueces fue estadísticamente igual entre nogales abonados con biosólidos y aquellos que recibieron fertilizante (cuadro 5). El rendimiento siempre fue mayor en los primeros, un 11.3% más de promedio anual. De manera importante la productividad anual de un nogal pecanero depende de la provisión adecuada de nitrógeno en las fases fenológicas de crecimiento del brote, crecimiento del fruto y llenado de la almendra (Wood 2002). De lo anterior se deduce que los biosólidos incorporados al suelo de una huerta pueden proveer suficientes nutrimentos, específicamente N, durante las fases críticas de desarrollo del nogal para sostener una adecuada producción de nueces cada año.

Cuadro 5. Rendimiento de nuez de nogales abonados con fertilizantes y biosólidos, en tres años. Delicias, Chihuahua.

Tratamiento	kg/árbol <sup>1</sup>			Promedio <sup>2</sup>
	2004	2005	2006	
Fertilizante	4.39	11.15	9.56	8.37
Biosólido	4.99	12.91	10.41	9.44
Pr>F	0.597	0.349	0.682	0.504

<sup>1</sup>De 8, 9 y 10 años de edad, respectivamente.

<sup>2</sup>De todas las observaciones de los tres años.

## 5.3. Calidad

Las variables básicas de calidad de la nuez son tamaño y color y porcentaje de almendra. Una almendra bien llena depende también de la provisión de agua y nutrimentos durante su formación, particularmente de N, P y K (Sparks 1989). En el cuadro 6 se muestra que los nogales abonados con biosólido son tan eficientes en producir almendras como aquellos que recibieron fertilizante. En todos los tratamientos el porcentaje de almendra fue igual o mayor que el promedio estándar de 57.5% para la variedad Western (Herrera 2008).

## 5.4. Concentración foliar de nutrimentos

Sparks (1989) y Smith (1991) resumen la concentración foliar suficiente (CFS) de los distintos nutrimentos para que un nogal sea productivo. Para el nitrógeno la CFS es de 2.5 a 2.8%, y en

los tres años del estudio ambos tratamientos estuvieron en dicho rango; únicamente el primer año hubo diferencia estadística a favor del biosólido (cuadro 7). La CFS para el fósforo es de 0.18 a 0.22%; el biosólido resultó tan buena fuente de P como el fosfato monoamónico; no obstante su riqueza en dicho elemento, el abono orgánico no causó a corto plazo (3 años) una acumulación a nivel de exceso en el follaje.

Cuadro 6. Contenido de almendra de la nuez de nogales abonados con fertilizantes y biosólidos, en tres años. Delicias, Chihuahua.

Tratamiento	Almendra (%)			Promedio <sup>1</sup>
	2004	2005	2006	
Fertilizante	57.9	57.8	57.6	57.7
Biosólido	58.2	59.6	57.6	58.5
Pr>F	0.780	0.097	0.932	0.215

<sup>1</sup>De todas las observaciones de los tres años.

Cuadro 7. Concentración foliar de macronutrientes primarios de nogales abonados con fertilizantes y biosólidos, en tres años. Delicias, Chihuahua.

Tratamiento	%		
	N	P	K
	<i>2004</i>		
Fertilizante	2.50	0.08	0.74
Biosólido	2.68	0.09	0.75
Pr>F	0.036	0.839	0.901
	<i>2005</i>		
Fertilizante	2.69	0.17	0.74
Biosólido	2.44	0.19	0.76
Pr>F	0.114	0.031	0.805
	<i>2006</i>		
Fertilizante	2.85	0.19	0.73
Biosólido	2.90	0.22	0.66
Pr>F	0.674	0.106	0.138

La CFS para el potasio es de 1.0 a 1.3%; en los tres ciclos de cultivo este nutriente se mantuvo en un nivel de deficiencia en ambos tratamientos. Dicha respuesta puede deberse a

un problema de absorción del nutrimento, dado que el K se acumula en la superficie del suelo, donde hay pocas raíces alimentadoras del nogal cuando la textura es arenosa (Brisson 1976). Por su parte, el Ca y Mg estuvieron prácticamente en igual concentración durante los tres años en ambos tratamientos. En los tres años, la concentración promedio de sodio (Na) fue de 0.045% en nogales con fertilizante y de 0.030% en árboles con biosólido.

El zinc es un elemento clave para la nutrición de los nogales y su absorción está muy ligada al grado de micorrización de la raíz del frutal (Sparks 1976, Tarango et al. 2004); la CFS para el Zn es de 50 a 100 mg/kg. En el primer año hubo diferencia estadística a favor del fertilizante, en el segundo ambos tratamientos estuvieron apenas por encima del límite mínimo de suficiencia y para el tercer año se encontraron deficientes de Zn (cuadro 8). En parte, dicha respuesta refleja la dificultad del nogal para abastecerse de este nutrimento en suelos arenosos y calcáreos (Smith y Storey 1969), y además sugiere que el Zn de los biosólidos no necesariamente está disponible en tales condiciones edáficas, al menos a corto plazo.

Cuadro 8. Concentración foliar de micronutrientes de nogales abonados con fertilizantes y biosólidos, en tres años. Delicias, Chihuahua.

Tratamiento	mg/kg				
	Zn	Fe	Cu	Mn	B
	<i>2004</i>				
Fertilizante	118	50	13	146	204
Biosólido	60	52	13	223	130
Pr>F	0.007	0.663	0.733	0.122	0.046
	<i>2005</i>				
Fertilizante	58	42	13	124	159
Biosólido	51	52	11	238	120
Pr>F	0.220	0.006	0.134	0.012	0.047
	<i>2006</i>				
Fertilizante	40	75	28	226	154
Biosólido	30	58	24	205	168
Pr>F	0.183	0.081	0.358	0.609	0.583

La CFS para el Fe es de 50 a 100 mg/kg; el primer y segundo años los nogales apenas alcanzaron el límite de suficiencia, para el tercer año mejoró el estado foliar del nutrimento (cuadro 8). En regiones semiáridas la carencia de Fe es común en nogales jóvenes y suelos arenosos

(Sparks 1989). Aunque los biosólidos tienen un alto contenido de Fe, éste se encuentra fuertemente ligado como óxido (Quinteiro et al. 1998); de esta manera, la aplicación continua del abono no causaría excesos de este nutrimento en los nogales, al menos a corto plazo.

La CFS para el Cu es de 10 a 15 mg/kg; en general, este nutrimento fue bien abastecido en los tres años. El nogal pecanero es una planta eficiente en absorber Cu, no obstante la baja movilidad del elemento en el suelo (Sparks 1989). Comúnmente los biosólidos son ricos en Cu, pero en forma fuertemente ligada (Quinteiro et al. 1998); en suelos de pH alcalino el metal puede precipitar como óxido o carbonato, por lo que no sería tomado en exceso por el nogal al ser abonado con biosólidos, al menos al corto plazo.

La CFS para el Mn es de 100 a 300 mg/kg; en los tres años y en ambos tratamientos el elemento se mantuvo bien abastecido, sin diferencia estadística. El hecho de que en el tratamiento con fertilizantes, que no contienen Mn, las hojas tuvieran una concentración normal del nutrimento indica que el suelo lo provee de manera suficiente y que el nogal lo absorbe de manera adecuada. Por su parte, los biosólidos aportan cantidades bajas de Mn, el cual en el suelo pasa a formas fácilmente aprovechables por las plantas (Quinteiro et al. 1998).

La CFS para el B es de 50 a 100 mg/kg; en todos los años y en los dos tratamientos este nutrimento estuvo arriba del límite máximo de suficiencia, aunque no alcanzó la concentración foliar de toxicidad, que es de 350 mg/kg (Sparks 1989). Sólo en el primer año hubo diferencia estadística entre tratamientos, sin embargo no parece debida al fertilizante o abono orgánico (cuadro 8). Es valioso el hecho que los biosólidos no aporten significativamente más B que el que ya proveen el suelo y el agua.

### **5.5. Concentración de nutrimentos en el suelo**

La aplicación de biosólidos según la dosis de N requerida por cada nogal permitió proveer el nutrimento para un crecimiento y producción adecuados. Aunque sólo hubo diferencia estadística en el segundo año, se observa que los biosólidos favorecen el N residual (nitratos) en el suelo, efecto que se acentúa conforme se hacen más aplicaciones del abono (cuadro 9). Esto ocurre porque la mineralización del N-orgánico de los biosólidos es un proceso paulatino (Lindemann



y Cárdenas 1984) y parcial cada año, de 30 a 50% en regiones semiáridas (Uribe et al. 2003). Al segundo y tercer años de aplicación, los biosólidos incrementaron la concentración de nitratos en el suelo a un nivel clasificado como alto (Figueroa et al. 2002), de 20 a 65% más que con fertilizantes. El fósforo aumentó fuertemente en la capa arable del suelo, de tal manera que la acumulación de este elemento podría ser una limitante para un uso del abono a largo plazo (Maguire et al. 2000). La concentración de K edáfico fue menor con biosólidos, mientras que la de Ca y Mg resultaron similares entre tratamientos, con una tendencia a ser aumentada por el abono orgánico.

Cuadro 9. Concentración de macronutrientes en el suelo (0-30 cm) de nogales abonados con fertilizantes y biosólidos, en tres años. Delicias, Chihuahua.

Tratamiento	NO <sub>3</sub> (kg/ha)	mg/kg			
		P	K	Ca	Mg
		<i>2004<sup>1</sup></i>			
Fertilizante	9.2	9.2	320	2,414	123
Biosólido	12.0	27.9	295	2,315	131
Pr>F	0.287	0.006	0.568	0.568	0.612
		<i>2005</i>			
Fertilizante	16.1	3.8	383	2,854	170
Biosólido	46.0	34.5	245	2,947	208
Pr>F	0.010	0.0006	0.002	0.644	0.034
		<i>2006</i>			
Fertilizante	35.0	4.8	276	3,312	131
Biosólido	43.4	24.6	280	3,505	175
Pr>F	0.609	0.001	0.950	0.445	0.069

<sup>1</sup>Al final de cada ciclo de cultivo.

Desde la primera aplicación los biosólidos incrementaron fuertemente la concentración de Zn en el suelo, la cual se clasifica como 'muy alta' (Cihacek 1985); el abono triplicó el contenido del nutriente (cuadro 10), respuesta típica al aplicar dicho material (Tester 1990, Binder et al. 2002). No obstante, el nivel del elemento en el follaje apenas estuvo por encima del límite mínimo del rango de suficiencia en el primer y segundo años y fue deficiente el tercer año (cuadro 8). Si bien los biosólidos aumentan sustancialmente el Zn en el suelo y éste se hace disponible para las plantas (Quinteiro et al. 1998), su acumulación en la capa arable dificulta su absorción por

los nogales cuando la textura es arenosa. También puede ser que el pH alcalino y la pobreza de materia orgánica hayan favorecido la retención del nutrimento por los carbonatos (Davies y Jones 1992). Este último efecto podría ser un mecanismo para que la gran cantidad de Zn que aportan los biosólidos no se torne en una afectación de la calidad agronómica de los suelos al corto o mediano plazo.

Cuadro 10. Concentración de micronutrientos en el suelo (0-30 cm) de nogales abonados con fertilizantes y biosólidos, en tres años. Delicias, Chihuahua.

Tratamiento	mg/kg			
	Zn	Fe	Cu	Mn
	<i>2004<sup>1</sup></i>			
Fertilizante	2.0	2.8	0.43	4.8
Biosólido	3.9	4.1	0.79	4.6
Pr>F	0.109	0.055	0.098	0.815
	<i>2005</i>			
Fertilizante	1.13	2.6	0.55	1.3
Biosólido	4.91	4.3	1.19	1.8
Pr>F	0.001	0.004	0.045	0.296
	<i>2006</i>			
Fertilizante	0.59	2.5	0.26	1.5
Biosólido	3.00	3.1	0.65	1.4
Pr>F	0.004	0.064	0.0004	0.064

<sup>1</sup>Al final de cada ciclo de cultivo.

De acuerdo con Cihacek (1985), en los tres años el contenido de Fe del tratamiento con fertilizante varió de bajo a moderado y donde se aplicó biosólido de moderado a alto, siendo la diferencia significativa; no obstante el aumento, el Fe del abono se encuentra ligado como óxido (Quinteiro et al. 1998), por lo cual sólo en un año de tres el nutrimento resultó incrementado en el follaje (cuadro 8). La concentración de Cu donde se aplicó fertilizante varió de baja a moderada y cuando se incorporó biosólido de moderada a alta, con una diferencia significativa el segundo y tercer ciclos de cultivo; y aunque el abono duplicó el contenido de Cu en el suelo, el nivel del elemento en las hojas no fue mejorado. Esto puede deberse a que se encuentra ligado a la materia orgánica del biosólido (Quinteiro et al. 1998) y/o a que se acumula en la capa arable.

La concentración edáfica de Mn fue prácticamente igual al aplicar fertilizantes o biosólidos y se clasificó de moderada a alta (Cihacek 1985). El nivel del nutrimento en las hojas en todos los casos estuvo en el rango de suficiencia. Esto es, el abono no aumenta de manera importante el Mn en el suelo, y aunque el elemento pasa a formas fácilmente aprovechables por las plantas (Quinteiro et al. 1998), no se acumula en exceso en el follaje.

Se observó que los agregados de biosólido son cohesivos y tenaces, debido en parte a la sustancia que se usa para su floculación (poliacrilamida catiónica), características que le dan cierta resistencia a la descomposición (un agregado en la superficie del suelo puede tardar hasta 14 meses en desintegrarse por completo); así, el material se va disgregando poco a poco, lo que permite una disposición gradual de nutrimentos durante el ciclo vegetativo.

## **5.6. Materia orgánica y salinidad**

El contenido de materia orgánica (MO) en el suelo exhibió un incremento pequeño con la incorporación de biosólidos, efecto debido a la baja dosis que se aplicó del abono cada año y a la rápida mineralización de éste en suelos de regiones semiáridas con riego (Strait et al. 1999). El biosólido disminuyó de manera consistente el valor del pH, con una diferencia significativa los primeros dos años (cuadro 11); este es un efecto benéfico en aridisoles, pues conforme el pH sube de 7.0 la disponibilidad de micronutrientes para el nogal se reduce (Smith 1991). Dicha respuesta fue documentada por Potisek et al. (2006), quienes suponen que el pH baja debido a los ácidos orgánicos que se forman al descomponerse la MO del biosólido. Otro posible mecanismo es que el N liberado del abono propicie la formación de ácido (Worley y Mullinix 1996).

La conductividad eléctrica (CE), una manera de medir la salinidad, con fertilización convencional permaneció estable durante los tres años del estudio, en cambio con la aplicación de biosólidos se observó un aumento de sales solubles cada año. Con fertilizante se detectó una tendencia a que el sodio aumentara con el tiempo, pero cuando se aplicó biosólido el contenido del ion salino siempre fue menor (cuadro 11). Si bien el incremento de la CE con el abono es ligero, debe tomarse en cuenta que ocurrió con una dosis anual baja del material, que el suelo es arenoso y sujeto a irrigación. Esta respuesta indica que al aportar biosólidos la CE

del suelo debería muestrearse periódicamente, pues a mediano plazo la acumulación salina podría resultar dañina para el nogal. Al respecto, Potisek et al. (2006) encontraron que un aumento significativo de la CE ocurre el año de la aplicación sólo cuando la dosis de biosólidos es muy alta, de 200 t/ha en base seca.

Cuadro 11. Concentración de materia orgánica e indicadores de salinidad en el suelo (0-30 cm) de nogales abonados con fertilizantes y biosólidos, en tres años. Delicias, Chihuahua.

Tratamiento	MO <sup>1</sup> (%)	pH	CE <sup>2</sup> (dSm <sup>-1</sup> )	Na (mg/kg)
	<i>2004<sup>3</sup></i>			
Fertilizante	0.29	8.4	0.99	190
Biosólido	0.38	8.2	0.75	155
Pr>F	0.246	0.013	0.027	0.218
	<i>2005</i>			
Fertilizante	0.45	8.2	0.97	320
Biosólido	0.46	7.8	1.46	250
Pr>F	0.953	0.066	0.002	0.035
	<i>2006</i>			
Fertilizante	0.32	8.1	0.85	218
Biosólido	0.34	7.9	1.18	210
Pr>F	0.567	0.274	0.212	0.774

<sup>1</sup>MO= materia orgánica, <sup>2</sup>CE= conductividad eléctrica.

<sup>3</sup>Al final de cada ciclo de cultivo.

### 5.7. Metales pesados en el suelo

Luego de tres años de aplicación de biosólidos la acumulación de metales pesados (MP) en la capa arable del suelo abonado fue muy baja y la tendencia es la de un proceso lento (cuadro 12). Esto se debe a que los biosólidos usados tenían muy bajo contenido de MP (tipo 'excelente') y a la dosis relativamente baja que se aplicó. Esto concuerda con los resultados de Uribe et al. (2000), quienes encontraron que la acumulación de MP al incorporar biosólidos de alta calidad es muy baja, con dosis de 20 a 60 t/ha del abono.

No obstante que el abono se concentró en la zona de goteo de los árboles, ningún metal pesado se acercó a la concentración máxima permisible (CMP) de la norma más estricta, que es la de la Comunidad Europea (McGrath et al. 1995). La tasa de acumulación media anual (mg/kg de suelo) debida al abono orgánico fue: As 1.75, Cd 0.04, Cr 8.1, Hg 0.05, Ni 0.06 y Pb 4.3. Con estos datos y tomando como referencia dicha norma, el número de años que se tardaría en alcanzar la CMP en suelos agrícolas según cada metal pesado sería: Cd 25-75, Cr 12.3-18.5, Hg 20-30, Ni 500-1,250 y Pb 11.6-69.7.

Cuadro 12. Concentración de metales pesados en el suelo (0-30 cm) de nogales abonados con fertilizantes y biosólidos, en tres años. Delicias, Chihuahua.

Tratamiento	mg/kg					
	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb
Fertilizante	<i>2004<sup>1</sup></i>					
	2.6	nd <sup>2</sup>	24.5	0.39	6.8	22.0
Biosólido	2.7	nd	25.6	0.23	7.2	23.9
Pr>F	0.886	—	0.870	0.096	0.662	0.627
Fertilizante	<i>2005</i>					
	0.74	0.44	6.9	0.01	6.6	10.6
Biosólido	0.80	0.56	8.1	nd	8.0	16.6
Pr>F	0.013	0.105	0.057	0.237	0.0002	0.129
Fertilizante	<i>2006</i>					
	5.2	nd	39.4	nd	nd	4.7
Biosólido	10.1	nd	61.4	nd	nd	9.8
Pr>F	0.095	—	0.027	—	—	0.332

<sup>1</sup>Al final de cada ciclo de cultivo.

<sup>2</sup>nd= no detectado.

De acuerdo con la norma europea el Cr y Pb serían los elementos que limitarían el uso seguro de los biosólidos al corto plazo (12 años). No obstante, en los suelos de pH alcalino de la región nogalera de Chihuahua ambos metales pueden precipitar como compuestos poco solubles y adsorberse a las partículas de arcilla y materia orgánica (Davies y Jones 1992, Rostagno y Sosebee 2001); además, el Pb es prácticamente inmóvil en la raíz (Sommers y Barbarick 1990). Por su parte, el Hg y el Cd se volverían limitantes a mediano plazo (20 a 25 años), aunque sólo en un año de tres analizados estos metales fueron detectados en la muestra,

y el Cd apareció en la concentración de un suelo natural de 0.4 a 1 mg/kg (Menzer 1991). En un suelo calcáreo el Hg precipitaría como hidróxido o carbonato muy poco solubles (Davies y Jones 1992), lo cual reduciría su disponibilidad para las plantas, además este elemento prácticamente no se mueve en la raíz (Sommers y Barbarick 1990). El Cd es muy móvil en el suelo y es absorbido fácilmente por las plantas (Breckle 1991, Menzer 1991), aunque dicho proceso es antagonizado por el contenido de Mn, Fe, materia orgánica y sobre todo por el Zn y los fosfatos (Mengel y Kirkby 1979, Allaway 1986).

El Ni fue un elemento común en el suelo, incluso donde se aplicó fertilizante, y los biosólidos aportaron muy poco de este MP. Es el metal que más tiempo requeriría para alcanzar una concentración límite en el suelo. Para el As las normas de Estados Unidos y Europa no establecen una CMP, aunque en Argentina ésta es de 20 mg/kg de suelo (Lavado y Taboada 2002). Este metaloide también fue común en el suelo y por el aporte de los biosólidos su límite se alcanzaría en tan sólo 11.4 años, según la norma argentina. En los suelos calcáreos el As precipita en formas poco solubles (Davies y Jones 1992).

Es importante aclarar que la biodisponibilidad de los MP en biosólidos de aguas residuales de origen doméstico es muy baja o nula, dado que la mayor concentración se encuentra en formas químicas muy estables, unidas a silicatos y a la materia orgánica (González et al. 2007).

El suelo del tratamiento con fertilizante también aporta MP, lo cual puede deberse al contenido natural de estos elementos o por contaminación debida a las aplicaciones previas y actuales de agroquímicos sintéticos, los cuales contienen pequeñas cantidades de Pb, Cd, As y Ni, como los fertilizantes fosfatados, el sulfato de amonio y los ácidos fosfórico y sulfúrico 'grado agrícola' (Colomer y Sánchez 2000, Hernández et al. 2004, Zúñiga et al. 2007).

## **5.8. Metales pesados en la planta**

La acumulación de MP en las partes comestibles de las plantas es importante porque es el ingreso en la cadena trófica (Chaney y Giordano 1986). En el primer año del estudio se encontró que tanto los fertilizantes como los biosólidos aportan MP a la almendra, parte comestible del

fruto del nogal pecanero. En general, la tendencia es que los biosólidos aumenten la concentración de MP, aunque sin una diferencia estadística (cuadro 13).

En el primer año, cuando se aplicó una dosis de abono orgánico equivalente a 2.41 t/ha, en la almendra la concentración de As fue igual y la de Cr casi igual cuando se abonó con fertilizante y con biosólido, mientras que el Hg prácticamente no se detectó en ambos tratamientos. El Cd en los tratamientos con biosólido fue de 0.23 mg/kg, muy por debajo del máximo de 5 mg/kg que puede tener un alimento vegetal para que se considere seguro (Chaney et al. 2001). El Ni alcanzó 5.3 mg/kg cuando se aplicaron biosólidos, 47% más que con fertilizante. El Pb fue de 12 mg/kg para los tratamientos con biosólido, apenas 3.6 mg/kg más que para los fertilizantes. Al respecto, en el Reino Unido (FSA 2007) la concentración máxima permisible para frutas, hortalizas y nueces es (mg/kg): As 1.0, Cd 0.05 y Pb 0.1-0.2. De acuerdo con estos niveles, la concentración en la almendra de As estuvo en dicho límite tanto con fertilizante como con biosólido, la de Cd fue baja con fertilizante y muy alta con biosólido y la de Pb fue muy alta con ambos abonos.

Cuadro 13. Concentración de metales pesados en la almendra del fruto de nogales abonados con fertilizantes y biosólidos, en tres años. Delicias, Chihuahua.

Tratamiento	mg/kg					
	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb
	<i>2004<sup>1</sup></i>					
Fertilizante	1.02	0.01	0.21	0.01	3.6	8.4
Biosólido	1.07	0.23	0.34	nd	5.3	12.0
Pr>F	0.956	0.202	0.706	0.373	0.521	0.609
	<i>2005</i>					
Fertilizante	0.04	nd	nd	0.75	nd	nd
Biosólido	0.24	nd	nd	0.81	nd	nd
Pr>F	0.107	—	—	0.683	—	—
	<i>2006</i>					
Fertilizante	0.37	nd	nd	0.11	nd	nd
Biosólido	0.18	nd	0.22	nd	nd	nd
Pr>F	0.445	—	0.373	0.373	—	—

<sup>1</sup>Al final de cada ciclo de cultivo.

<sup>2</sup>nd= no detectado.

En el segundo año del trabajo, cuando la dosis aplicada de biosólido fue equivalente a 2.76 t/ha, la concentración en la almendra del Cd, Cr, Ni y Pb estuvo por debajo de los límites de detección; el As se detectó en ambos tratamientos en una cantidad más baja que el límite permitido por la FSA (2007); el Hg con biosólidos apenas fue 0.06 mg/kg mayor que con fertilizantes; en ningún caso hubo diferencia estadística (cuadro 13). En el tercer año el biosólido aplicado fue equivalente a 3.10 t/ha, y nuevamente el Cd, Cr, Hg, Ni y Pb no fueron detectados en la almendra; el As fue encontrado en mayor concentración en los árboles con fertilizante, y los 0.18 mg/kg en los tratamientos con biosólido están muy por debajo del 1.0 mg/kg permitido por la FSA (2007) para las nueces. Los resultados del segundo y tercer años, bajo una condición de efecto acumulativo por la aplicación repetida de biosólidos, indican que con las dosis aportadas del abono la concentración de metales pesados en la almendra no es mayor que al aplicar fertilizante, al corto plazo.

En la región de Delicias (Chihuahua), al abonar con 20 t/ha de biosólidos tipo 'excelente', plantas de alfalfa, algodón, avena y maíz no aumentaron su concentración foliar de Cr y Pb; lo hicieron con el Cd el algodón y el maíz, con el Hg la avena y con el Ni la alfalfa y el maíz. El contenido de MP siempre fue menor que el nivel permitido; además se encontró que el suelo sin abonar también aporta MP a los cultivos (Uribe et al. 2000).

### **5.9. Microorganismos en suelo y nuez**

Según la norma oficial NOM-004-SEMARNAT-2002, los biosólidos utilizados en este trabajo fueron clase C en los primeros dos años y clase A el tercer año. De acuerdo con la USEPA (1995), los biosólidos clase C no deberían usarse en suelos agrícolas, aunque en México la SEMARNAT (2002) permite su utilización, con la condición de mediar un tiempo suficiente entre la incorporación del abono y la cosecha y que el material no tenga contacto con la parte comestible de los cultivos.

En los primeros dos años el análisis de suelo previo a la cosecha de las nueces no detectó presencia de las bacterias *Escherichia coli* o *Salomonella* sp. En el tercer año, en ambos tratamientos se encontró presencia de *E. coli*, pero no de *Salmonella* sp. Se considera que *E. coli* no provino del biosólido, sino que se trata de un problema de contaminación externa,



dado que también fue detectada en el tratamiento con fertilizante y en un punto de la huerta separado 60 m de los árboles con el abono orgánico (cuadro 14). Este es un aspecto importante que ilustra cómo otras actividades en las nogaleras, como la defecación de los trabajadores entre los árboles o la presencia de fauna silvestre (Zaleski et al. 2005), pueden causar contaminación del suelo con microbios patógenos.

En buena medida, la no detección de bacterias patógenas en precosecha puede explicarse porque al abonar con biosólidos la supervivencia de la mayoría de tales microbios (sobre todo *Salmonella* y coliformes fecales) en el suelo superficial es por corto tiempo, dado que son destruidos por el calor, desecación, luz ultravioleta y microorganismos antagónicos (Menzies 1986, Sommers y Barbarick 1990, Epstein 2001). Específicamente, el antagonismo entre grupos microbianos es muy intenso; así, una población de *E. coli* es notoriamente reducida por la microflora nativa del suelo (Jiang et al. 2002), donde puede ser eliminada de manera rápida por la bacteria endoparasítica *Bdellovibrio bacteriovorus* (Martin y Focht 1986).

Cuadro 14. Presencia de bacterias en la superficie del suelo (0-3 cm) y en la cáscara de la nuez de nogales abonados con fertilizantes y biosólidos, en tres años. En precosecha, siete meses después de la aplicación de los biosólidos. Delicias, Chihuahua.

Tratamiento	DAB <sup>1</sup> (m)	<i>Escherichia coli</i>		<i>Salmonella</i> sp.	
		Suelo	Nuez	Suelo	Nuez
<b>2004</b>					
Biosólidos	0	- <sup>2</sup>	na <sup>3</sup>	-	na
Fertilizante	12	-	na	-	na
Huerta <sup>4</sup>	60	-	na	-	na
<b>2005</b>					
Biosólidos	0	-	-	-	-
Fertilizante	12	-	-	-	-
Huerta	60	-	-	-	-
<b>2006</b>					
Biosólidos	0	+	-	-	-
Fertilizante	12	+	-	-	-
Huerta	60	+	-	-	-

<sup>1</sup>DAB= distancia de los árboles abonados con biosólidos.

<sup>2</sup>-No detectada, +Detectada.

<sup>3</sup>No se analizó.

<sup>4</sup>Árboles de otra zona de la huerta, para referencia.

También se analizó la presencia de bacterias en la cáscara de la nuez luego de dos días de contacto con el suelo y restos de biosólidos (simulando el proceso de una cosecha comercial). Esta es una variable importante dado que la principal vía de infección por patógenos de los biosólidos es por ingestión, al consumir frutos en contacto con el abono (Epstein 2001). En los dos años de muestreo no se encontraron bacterias *E. coli* ni *Salmonella* sp. asociadas a la cáscara de la nuez en ningún tratamiento (cuadro 14). La respuesta valida el hecho de que al menos en la superficie del suelo no hay evidencia de que sobrevivan patógenos provenientes de los biosólidos a los siete meses de su aplicación.

## 6. Validación

En el año 2008 se realizó la validación de los resultados anteriores. En la Huerta Trincheras se aplicaron biosólidos a un lote de 5 ha de nogales de 12 años de edad y a uno de 10 ha de árboles de >35 años. Se utilizaron biosólidos generados el año 2006, con 2.2% de nitrógeno y 15% de humedad (y asumiendo un 50% de mineralización). Para los nogales jóvenes se definió la fórmula de fertilización 100-20-40 y para los adultos 180-20-40, por lo cual se abonaron con 10 y 20 t/ha de biosólidos, respectivamente; en ambos casos se complementó con 90 kg de  $\text{KNO}_3$ /ha, no se adicionó fertilizante fosforado. En los cuadros 15 y 16 se presenta la respuesta de los árboles a dicho abonado.

La longitud de brote fructífero, el rendimiento y la calidad de la nuez (cuadro 15) se ubican en el rango de nogales productivos, en ambas edades de árboles (Herrera 2008). La concentración de N en el follaje es excelente en los árboles de ambas edades; la de P es adecuada en los nogales jóvenes y baja en los adultos, no obstante la riqueza de este elemento en los biosólidos (cuadro 16). El K resultó deficiente en los árboles jóvenes y en un nivel adecuado en los adultos; en el primer caso puede deberse a que el nutrimento se esparció en todo el piso de la huerta (con el riego por aspersión), mientras que la raíz de los árboles sólo explora la mitad del mismo.

Por su parte, la concentración foliar de micronutrientes estuvo en el nivel óptimo, por debajo del límite máximo de suficiencia y muy lejos de un nivel de toxicidad (Sparks 1989, Smith

1991). Cabe señalar que aparte de los elementos menores aportados por los biosólidos, se hicieron cinco aspersiones foliares de zinc y una de cobre.

Cuadro 15. Crecimiento, rendimiento y calidad de nuez de nogales abonados con biosólidos. Huerta Trincheras; Delicias, Chihuahua.

Edad de árbol	LBF <sup>1</sup> (cm)	kg/ árbol	g/nuez	Almendra (%)
12 años	16.4	19.9	6.5	56.6
>35 años	15.0	61.8	5.8	55.3

<sup>1</sup>LBF= longitud de brote fructífero.

Lo anterior muestra que los biosólidos son un abono adecuado para nogales en producción. De manera particular son una fuente muy eficaz de nitrógeno, la alta cantidad de fósforo que aportan (cuadro 9) es de disponibilidad lenta para los nogales, y por su pobreza de potasio este elemento debe ser suplementado.

Cuadro 16. Concentración foliar de nutrimentos de nogales abonados con biosólidos. Huerta Trincheras; Delicias, Chihuahua.

Edad de árbol	%			mg/kg		
	N	P	K	Zn	Fe	Cu
12 años	2.79	0.16	0.72	101	91	8.1
>35 años	2.96	0.10	1.38	113	82	13.7

## 7. Conclusiones

Luego de tres años de aplicar biosólidos en dosis de 2.41, 2.76 y 3.10 t/ha en base seca, a nogales de 8, 9 y 10 años de edad respectivamente, se plantean las siguientes conclusiones: a) los biosólidos son tan eficientes como los fertilizantes en proveer nutrimentos a los nogales y en promover su crecimiento y producción; b) los biosólidos tienden a mejorar la fertilidad del suelo; c) los biosólidos no incrementaron el contenido de metales pesados tóxicos en el suelo; d) el abono orgánico no aumentó la concentración de metales pesados en la almendra del fruto; e) a los siete meses de la aplicación de los biosólidos no se detectaron bacterias patógenas en el suelo ni en la nuez.

Por su parte, la validación comprobó que el abonado con biosólidos es una tecnología apropiada para nogaleras en producción. El aprovechamiento racional y seguro de los biosólidos depende de la entidad que los genera, del técnico que los dosifica y del productor que los aplica.

### **AGRADECIMIENTOS**

Por las facilidades para realizar esta investigación en su huerta al Lic. Ricardo Fierro Portillo y al MVZ Juan Jaime Hernández Muñoz. Por su valioso apoyo en el trabajo de campo a los señores Luis Carlos Pérez Figueroa y Jesús Guerrero Chavarría Rodríguez. Al M.C. Hugo Raúl Uribe Montes, del Campo Experimental Delicias-INIFAP, por su asesoría en el manejo de los biosólidos y la revisión de este documento.

A la química Silvia Violeta Miranda Navarro, M.C. Myriam Verónica Moreno López, Ing. Alma Delia Rubio Gómez, M.C. Guillermo Mariscal Ávila, Q.A. Flor Ileana Adame Salcido y Q.Br. Lorena Flores Portillo, por la realización de los análisis químicos y microbiológicos.

A la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de la ciudad de Chihuahua y al personal de Earth-Tech de México, por la provisión de los biosólidos y sus análisis de calidad. Por el apoyo económico al trabajo experimental, de campo y de laboratorio, a las Asociaciones de Nogaleros de Delicias, Jiménez (Chihuahua) y Hermosillo (Sonora). A Viveros Esparza por el patrocinio para la publicación de este trabajo.

## 8. Literatura citada

- Allaway, W.H. 1986. Food chain aspects of the use of organic residues. In: Soils for management of organic wastes and waste waters. Second ed. SSSA-ASA-CSSA. P.10-43.
- Binder, D.L.; A. Dobermann; D.H. Sander and K.G. Cassman. 2002. Biosolids as nitrogen source for irrigated maize and rainfed sorghum. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:531-543.
- Breckle, S.W. 1991. Growth under stress. Heavy metals. In: Y. Waisel, A. Eshel and U. Kafkafi (eds.). Plants roots. The hidden half. Marcel Dekker Inc. USA. P.351-373.
- Brisson, F.R. 1976. Cultivo del nogal pecanero. México. Conafrut. 349 p.
- Chaney, D.E.; L.E. Drinkwater and G.S. Pettygrove. 1992. Organic soil amendments and fertilizers. Publication 21505. DANR. University of California. 36 p.
- Chaney, R.L. and P.M. Giordano. 1986. Microelements as related to plant deficiencies and toxicities. In: Soils for management of organic wastes and waste waters. Second ed. SSSA-ASA-CSSA. P.234-278.
- Chaney, R.L.; J.A. Ryan; U. Kukier; S.L. Brown; G. Siebielec; M. Malik and J.S. Angle. 2001. Heavy metal aspects of compost use. In: P. Stofella and B. Kahn (eds.). Compost utilization in horticultural cropping systems. CRC Press. P.323-359.
- Cihacek, L.J. 1985. Interpreting soil analysis. Guide A-126. CES-New Mexico State University.
- Colomer M., J.C. y J. Sánchez D. 2000. Agricultura y procesos de degradación del suelo. En: F. Martín S.O.M. (ed.). Agricultura y desertificación. España. Mundi-Prensa. P.109-131.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2006. La gestión del agua en México. Avances y retos. México. CONAGUA. 249 p.

- Davies, B.E. y L.H.P. Jones. 1992. Micronutrientes y elementos tóxicos. En: A. Wild (ed.). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Ed. Mundi-Prensa. España. P.819-853.
- Dennis, G.L. and P.R. Fresquez. 1989. The soil microbial community in a sewage-sludge-amended semi-arid grassland. *Biol. Fertil. Soils* 7:310-317.
- Epstein, E. 2001. Human pathogens: hazards, controls and precautions in compost. In: P. Stofella and B. Kahn (eds.). *Compost utilization in horticultural cropping systems*. CRC Press. P.361-380.
- Earth Tech de México (ETM). 2007. Operación de las plantas de tratamiento de agua residual de la ciudad de Chihuahua. gerencia de proceso. Comunicado octubre-2007.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2009. Costos de producción del nogal pecanero. Delegación Regional Delicias. FIRA-Banco de México.
- Figueroa V., U.; M.C. Medina M. y J.F. Chávez G. 2002. Manejo del suelo. En: *Tecnología de producción en nogal pecanero*. Libro técnico núm. 3. CELALA-INIFAP. México. P.77-99.
- Flores M., J.P. 2007. Resinas de intercambio iónico para evaluar la mineralización de nitrógeno en suelos tratados con abonos orgánicos. En: *Uso y aprovechamiento de abonos orgánicos e inocuidad*. México. Soc. Mex. Ciencia del Suelo. P.386-412.
- Food Standards Agency (FSA). 2007. Survey of metals in a variety of foods. United Kingdom. [www.food.gov.uk/science](http://www.food.gov.uk/science)
- Gilmour, J.T. and V. Skinner. 1999. Predicting plant available nitrogen in land-applied biosolids. *J. Environ. Qual.* 28:1122-1126.

- González, E.; M.A. Tornero; Y. Ángeles y N. Bonilla. 2007. Especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano utilizados para mejorar suelos agrícolas. En: Memorias. VI Congreso Internacional y XII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. UACH-ANCA.
- Hernández H., J.M.; E. Olivares S.; H. Rodríguez F. y I. Villanueva F. 2004. Contenido de metales pesados en sorgo por adición al suelo de lodos residuales bajo condiciones controladas. En: Memoria, XV Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario. México. DGETA-SEIT-SEP. sp.
- Herrera A., E. 2008. Manejo de huertas de nogal. México. Universidad Autónoma de Chihuahua. 306 p.
- Jiang, X.; J. Morgan and M.P. Doyle. 2002. Fate of *Escherichia coli* O157:H7 in manure-amended soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 68(5):2605-2609.
- Jurado G., P.; M. Luna L. y R. Barretero H. 2004. Aprovechamiento de biosólidos para la rehabilitación de pastizales en zonas semiáridas. Folleto técnico No. 12. México. CELC-INIFAP. 36 p.
- Kilby, M.W. and E. Mielke. 1982. Mineral nutrition of the pecan in the irrigated southwest. *Proc. Sixteenth West. Pecan Conf. CES-New Mexico State University.* P.35-55.
- Lavado, R.S. y M.A. Taboada. 2002. Manual de procedimientos para la aplicación de biosólidos en el campo. Argentina. Fac. de Agronomía-Universidad de Buenos Aires. 54 p.
- Lindemann, W.C. and M. Cárdenas. 1984. Nitrogen mineralization potential and nitrogen transformations of sludge-amended soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:1072-1077.
- Maguire, R.O.; J.T. Sims and F.J. Coale. 2000. Phosphorus solubility in biosolids-amended farm soils in the mid-atlantic region of the USA. *J. Environ. Qual.* 29:1225-1233.

- Martin, J.P. and D.D. Focht. 1986. Biological properties of soil. In: Soils for management of organic wastes and waste waters. Second ed. SSSA-ASA-CSSA. P.114-169.
- McBride, M.B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? J. Environ. Qual. 24:5-18.
- McGrath, S.P.; A.M. Chaudri and K.E. Giller. 1995. Long-term effects of land application of sewage sludge: soils, microorganisms and plants. J. Indust. Microbiol. P.517-533.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1979. Principles of plant nutrition. 2<sup>nd</sup>. ed. International Potash Institute. Berna. P.441-520.
- Menzer, R.E. 1991. Water and soil pollutants. In: Casarett and Doull's (ed.). Toxicology. The basic science of poisons. 4<sup>th</sup> ed. Pergamon Press. P.872-902.
- Menzies, J.D. 1986. Pathogen considerations for land application of human and domestic animal residues. In: Soils for management of organic wastes and waste waters. Second ed. SSSA-ASA-CSSA. P.574-585.
- Noyola, A.; N. Cabirol; M. Cisneros; L.A. Rubio y A. Tinajero. 2004. Digestión anaerobia termofílica de lodos de desecho para la producción de biosólidos clase A. En: XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS. 12 p.
- Núñez M., J.H. 2001. Nutrición y fertilización. En: J.H. Núñez, B. Valdez, G. Martínez y E. Valenzuela (eds.). El nogal pecanero en Sonora. Libro técnico núm. 3. CECH-INIFAP. México. P.63-91.
- Quinteiro R., M.P.; M.L. Andrade C. y E. de Blas V. 1998. Efecto de la adición de un lodo residual sobre las propiedades del suelo: experiencias de campo. Universidad de Granada. Revista Edafología 5:1-10.



- Rostagno, C.M. and R. Sosebee. 2001. Biosolids application in the Chihuahuan desert: effects on runoff water quality. *J. Environ. Qual.* 30:160-170.
- Potizek T., M.C.; U. Figueroa V.; R. Jasso I.; G. González C. y J. Villanueva D. 2006. Potencial de uso de biosólidos en un suelo de matorral desértico. Folleto técnico No. 6. México. CENID RASPA-INIFAP. 38 p.
- SAS Institute. 2001. SAS/STAT user's guide. Release 8.2 ed. SAS Institute, Cary, N.C. USA.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2009. Avances de siembras y cosechas 2008. Chihuahua. [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma oficial mexicana NOM-004-ECOL-2002. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. México. 52 p. [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)
- Seoáñez C., M. 1999. Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. 2ª. ed. Mundi-Prensa. España. 368 p.
- Sidhu, J.; R.A. Gibbs; G.E. Ho and I. Unkovich. 2001. The role of indigenous microorganisms in suppression of *Salmonella* regrowth in composted biosolids. *Wat. Res.* 35(4):913-920.
- Smith, M.W. 1991. Pecan nutrition. In: Pecan husbandry: Challenges and opportunities. First Nat. Pecan Work. Proc. ARS-USDA. P.152-157.
- Smith, M.W.; P.L. Ager and D.S.W. Endicott. 1985. Effect of nitrogen and potassium on yield, growth, and leaf elemental concentration of pecan. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110(3):446-450.
- Smith, M.W. and J.B. Storey. 1969. Zinc concentration of pecan leaflets and yield as influenced by zinc source and adjuvants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104(4):474-477.

- Sommers, L.E. and K.A. Barbarick. 1990. Constraints to land applications of sewage sludge. In: Utilization, treatment, and disposal of waste land. Third ed. Soil Sci. Soc. Amer. P.193-216.
- Sparks, D. 1976b. Zinc nutrition and the pecan- a review. Pecan South 3(2):304-309.
- Sparks, D. 1989. Pecan nutrition. Twenty-third West. Pecan Conf. CES-New Mexico State University. P.55-96.
- Sparks, D. 1991. Cultural practices. In: Challenges and opportunities. First Nat. Pecan Work. Proc. ARS-USDA. P.22-33.
- Sparks, D. and J.L. Heath. 1972. Pistillate flower and fruit drop of pecan as a function of time and shoot length. HortScience 7(4):402-404.
- Stockton, A. 1985. Interpreting pecan tree nutritional levels through leaf analysis. Proc. Nineteenth West. Pecan Conf. CES-New Mexico State University. P.99-100.
- Storey, J.B. 1990. Fertilization. In: Texas pecan profitability handbook. TAES-The Texas A&M University System. P.VI1-2.
- Strait, R.K.; R.E. Zartman; R.E. Sosebee and D.B. Wester. 1999. Evaluating temperature constraints for municipal biosolids application to a desert grassland soil. Texas J. Agric. Nat. Res. 12:80-87.
- Sullivan, D. 1998. Fertilizing with biosolids. PNW 508. Oregon State University. 12 p.
- Tarango R., S.H.; B.C. Macías L.; A. Alarcón y J. Pérez M. 2004. Colonización micorrízica, crecimiento y concentración foliar de nutrimentos en nogal pecanero y pistachero. Agric. Téc. Méx. 30(2):191-203.

- Tester, C.F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:827-831.
- Torres L., P.; J.C. Escobar; A. Pérez; R. Imery; D.F. Martínez; A.M. Méndez; S. Salazar y N. Vásquez. 2004. Influencia del material de soporte sobre el proceso de compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. En: XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS. 8 p.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1995. A guide to the biosolids risk assessments for the EPA part 503 rule. Office of Wastewater Management. 144 p.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1999. Biosolids generation, use, and disposal in the United States. Office of Wastewater Management. 74 p.
- Uribe M., H.R.; N. Chávez S. y M.S. Espino V. 2000. Los biosólidos como mejoradores de suelos agrícolas y avances de su evaluación en la región de Delicias. Folleto para productores No. 7. México. CEDEL-INIFAP. — p.
- Uribe M., H.R.; N. Chávez S.; G. Orozco H. y M.S. Espino V. 2003. Fertilización de maíz forrajero con biosólidos. Folleto técnico No. 13. México. CEDEL-INIFAP. 23 p.
- Valdez P., M.A.; A.C. Ramos V.; M.O. Franco H.; L.B. Flores C. y L. Dendoven. 2006. Biosólidos estabilizados y vermicomposta de biosólidos como fuente de nitrógeno en cultivos de frijol. En: Memorias. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. México. FEMISCA. P.1-6.
- Walworth, J. 2002. Potassium and phosphorus fertilization program in pecan orchards. In: Thirty-sixth West. Pecan Conf. Proc. NMSU-WPGA. P.38-46.
- Wood, B.W. 2002. Late nitrogen fertilization in pecan orchards: a review. In: Thirty-sixth West. Pecan Conf. Proc. NMSU-WPGA. P.47-59.

Wood, B.W. 2005. Improving nitrogen management. *The Pecan Grower* 16(3):10-13.

Worley, R.E. and B.G. Mullinix. 1996. Fertigation and leaf analysis reduce nitrogen requirements of pecan. *HortTechnology* 6(4):401-405.

Zaleski, K.J.; K.L. Josephson; C.P. Gerba and I.L. Pepper. 2005. Potential regrowth and recolonization of salmonellae and indicators in biosolids and biosolid-amended soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 71(7):3701-3708.

Zúñiga T., R.; T. Alarcón H.; E. Zúñiga V.; C.O. Puente V.; E. Salazar S.; C. Vázquez V. e I. Orona C. 2007. Riesgo de contaminación de suelo por metales pesados y su impacto potencial en los cultivos. En: *Uso y aprovechamiento de abonos orgánicos e inocuidad*. México. Soc. Mex. Ciencia del Suelo-Delegación Laguna. P.413-436.

## **Comité editorial del Cedel**

M.C. Ramón Rodríguez Martínez

M.C. Hugo Raúl Uribe Montes

Dr. Héctor Esteban Rodríguez Ramírez

M.C. Socorro Héctor Tarango Rivero

Dr. Rodolfo Jasso Ibarra

*Uso de biosólidos en la nutrición del nogal pecanero*

se terminó de imprimir en octubre de 2009,  
en Delicias, Chihuahua, México, con un tiraje de  
500 ejemplares.

Edición y formación: M.C. Francisco Báez Iracheta