



Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
Miguel de Cervantes No. 120
Complejo Industrial Chihuahua.
Chihuahua, Chihuahua.

Evaluación y determinación de metales pesados en nogales pecaneros (*Carya illinoensis*), abonados con biosólido.

“Tesis que como Requisito para obtener el Grado de Maestría en
Ciencias en Ciencia y Tecnología Ambiental presenta:”

Ing. Gabriela Tarango Rivero.

Director de tesis: Dr. Erasmo Orrantia Borunda.

Chihuahua, Chih., México.

Octubre del 2005.

Agradecimientos:

Quisiera empezar por lo más valioso para mí, que son mis pequeñas hijas Samary Armenia y Marissa, que cada día a través de su sonrisa me hacían llevar todo con mejor ánimo,

A mi esposo que sin su apoyo y comprensión no hubiese llegado a donde ahora estoy,

A mis padres que fueron y son, un motor muy importante a lo largo de mi vida,

A mis hermanas, así como a sus cónyuges que siempre tuvieron palabras de aliento, para impulsarme, especialmente a mi hermano y su familia, que sin la colaboración y su aporte no se hubiera realizado este trabajo,

A todos mis sobrinos que al igual que sus padres me dieron su aliento,

A mis suegros y cuñadas (a), que siguieron con gran expectativa todo lo ocurrido en esta maestría,

A todos mis maestros, asesores y personas de apoyo del Centro, así como a mis compañeros por todos los conocimientos que recibí de ellos,

Y finalmente, a Dios quien fue el creador de todos nosotros.

Gracias.

ÍNDICE

I.- Resumen 1.

II.- Introducción 3.

1.- El nogal pecanero y su cultivo

2.- Los biosólidos y su efecto

3.- Beneficios y riesgos del uso de biosólidos

III.- Justificación 11.

1.- Metales pesados

2.- Traslocación de metales pesados

3.- Microorganismos patógenos y parásitos

IV.- Objetivos 18.

1.- Objetivo general

2.- Objetivos particulares

V.- Materiales y métodos 18.

1.-Diseño experimental

2.- Medición de la concentración de los metales pesados en hoja, almendra y ruezno

3.- Digestión y análisis de la muestra

4.- Tratamiento de la muestra

VI.- Resultados y discusión 25.

VII.- Conclusiones 38.

VIII.- Bibliografía 41.

I.- Resumen

En este trabajo, se evaluaron los biosólidos como un abono alternativo para el nogal pecanero en su etapa de producción, midiendo su efecto en la acumulación de metales pesados en los diferentes tejidos de la planta como son: hoja, ruezno y almendra. Se integró el modelo bioecológico: nogal + biosólidos + hongos micorrízicos + hongos micoparásitos; combinados en seis diferentes tratamientos, más la incorporación de fertilizante comercial (45-15-15, NPK). Los datos se analizaron con un diseño de bloques al azar, por medio del paquete estadístico SAS.

Los resultados muestran que en los distintos tejidos vegetales para la mayoría de los elementos: aluminio (Al), arsénico (As), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), mercurio (Hg), zinc (Zn), no existió diferencia significativa ($P > F > 0.05$) entre tratamientos. En el cadmio (Cd), níquel (Ni) y plomo (Pb), se tuvo un nivel de significación de $P > F \leq 0.02$, los dos primeros con mayor concentración cuando se aplicó biosólidos + micorrizas + *Trichoderma*, y el último con fertilizante comercial + micorrizas + *Trichoderma*, por ello se concluye que los hongos favorecen la absorción de algunos de los metales pesados en el nogal pecanero.

Se observó que en la mayoría de los elementos, la hoja y el ruezno retienen una mayor concentración que la almendra, actuando estos como filtros descontaminantes, con excepción del Cd, Pb y P, elementos que se acumulan en la almendra en mayor proporción que en los otros dos tejidos.

Summary

In this work, the biosolids ones were evaluated as an alternative installment for the pecan tree from nut in its stage of production, measuring its effect in the heavy metal accumulation in different weaves from the plant as they are: leaf, envelope and almond. The bioecologic model was integrated: tree from nut + biosolids + mycorrhizic fungi + fungi mycoparasites; combined in six different treatments, plus the commercial fertilizer incorporation (45-15-15, NPK). The data were analyzed with a design of blocks when roasting, by means of statistical package SAS.

The results show that in different plants weaves it stops most of the elements: aluminum (Al), arsenic (As), chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe), mercury (Hg), zinc (Zn), that did not exist significant difference ($P > F > 0,05$) between treatments. In cadmium (Cd), nickel (Ni) and lead (Pb), was had a level of meaning of $P > F \leq 0.02$, both first with greater concentration when it was applied biosolids to + mycorrhizas + *Trichoderma*, and last with commercial fertilizer + micorrizas + *Trichoderma*, for that reason conclude that the fungi favour the absorption of some of heavy metals in the pecan tree from nut.

It was observed that in most of the elements, the leaf and envelope they retain a greater concentration than the almond, acting these like descontaminants filters, with exception of the Cd, Pb and P, elements that are accumulated in the almond in greater proportion than in other two weaves.

II.- Introducción

1.- El nogal pecanero y su cultivo

El nogal pecanero (*Carya illinoensis*) es originario del norte de México, y en ésta región en donde se produce nuez de alta calidad. Sin embargo, la media de producción (de 1.2 t/ha) en nuestro país es relativamente baja en comparación con la obtenida por los Estados Unidos de América; el hecho de que los niveles de producción no estén a la altura de su calidad indica que los sistemas de cultivo no son del todo efectivos. Para resolver este problema, una alternativa importante es la fertilización.

El nogal es un árbol que puede superar los 30 metros de altura, que inicia su producción de nuez entre los 6 y 10 años de edad y continúa produciendo comercialmente durante más de 30 años. La importancia comercial de la nuez reside en que es un producto utilizado en la industria alimentaria, por el aceite insaturado, y de confitería, como botanas (M^a Eugenia Gómez. 2000), en dietas especiales y en algunos procesos farmacéuticos.

El cultivo del nogal pecanero, demanda un elevado uso de fertilizantes (dependiendo del tamaño de cada árbol: 45 g de Nitrógeno / cm de diámetro de tronco), los cuales también representan un alto costo del total de producción (alrededor del 10%). Este árbol es nativo de suelos aluviales, es decir, tierras que se encuentran a lo largo de los ríos. Sin embargo, la mayoría de las nogaleras se han establecido fuera de este rango, teniendo un problema nutricional relacionado a suelos pobres y escasa agua de riego, más que con desórdenes fisiológicos de los árboles. (Tarango, 1992).

Otro aspecto importante en el manejo de la fertilización es el tamaño del árbol como un factor de rendimiento. Se ha determinado que el rendimiento y el tamaño de

nogales jóvenes se correlacionan positivamente y que tanto el riego como el aclareo (ampliar la zona en donde se encuentra el nogal, quitando árboles de manera alternada), incrementan el tamaño y rendimiento del árbol, siendo una característica inherente de las huertas de nogal y de la producción de las nueces. (Tarango, 1992). En la Tabla 1, se muestra la cantidad de nutrientes que utiliza el nogal para la producción de nueces.

Tabla 1. Cantidad de nutrimentos removida del suelo por nogales para producir 1,120 kg de nueces por hectárea*.

Nutrimento		Cantidad / kg
Nitrógeno	%	3.87
Fósforo	%	0.88
Potasio	%	1.68
Calcio	%	1.48
Magnesio	%	0.22
Manganeso	ppm	0.03
Fierro	ppm	0.01
Boro	ppm	0.004
Cobre	ppm	0.003
Zinc	ppm	0.01
Molibdeno	ppm	0.0008
*En base seca		

De: Sparks citado por Tarango (1992).

2.- Los biosólidos y su efecto

El término “biosólidos” proviene del método más común que se utiliza para su obtención, el cual consiste en el procesamiento biológico (digestión aeróbica y anaeróbica) de los sólidos de las aguas negras o residuales (Uribe *et. al.*, 2000).

Los biosólidos son estabilizados mediante procesos biológicos, físicos ó químicos, estos son muy parecidos al estiércol animal, y al igual que éste puede contener altos niveles de metales pesados, patógenos y parásitos (dependiendo del tipo de tratamiento de aguas del que procedan). En México la SEMARNAT regula que estos materiales se usen de acuerdo a las normas que ha establecido. (SEMARNAT, 2003).

Los biosólidos usados adecuadamente pueden servir a los suelos de varias formas: lo proveen de materia orgánica, que sirve para retención de agua (aspecto crítico en Chihuahua); aporte de nitrógeno a bajo costo para los cultivos y también suministrar otros nutrimentos a los suelos calcáreos del desierto como: fósforo, fierro, zinc y cobre en formas disponibles para la planta (Uribe *et. al.*, 2000). En el suelo los biosólidos pueden descomponerse y liberar nutrimentos de manera similar a la materia orgánica. (Cardoso. 1998).

El nitrógeno es el nutrimento básico para el crecimiento de la planta; en el biosólido está en forma de amonio, nitratos y nitrógeno orgánico, se encuentra en la materia orgánica que lo libera lentamente durante muchos meses tal como se observa en la Figura 1. (Cardoso. 1998).

El fósforo y los micronutrientes son necesarios para el crecimiento de la planta y están presentes en los biosólidos en diferentes cantidades. Los biosólidos aportan 13 veces más Zn y casi 100 veces más Cd que el estiércol (McGrath *et. al.* 2000, citado por Tarango 2004).

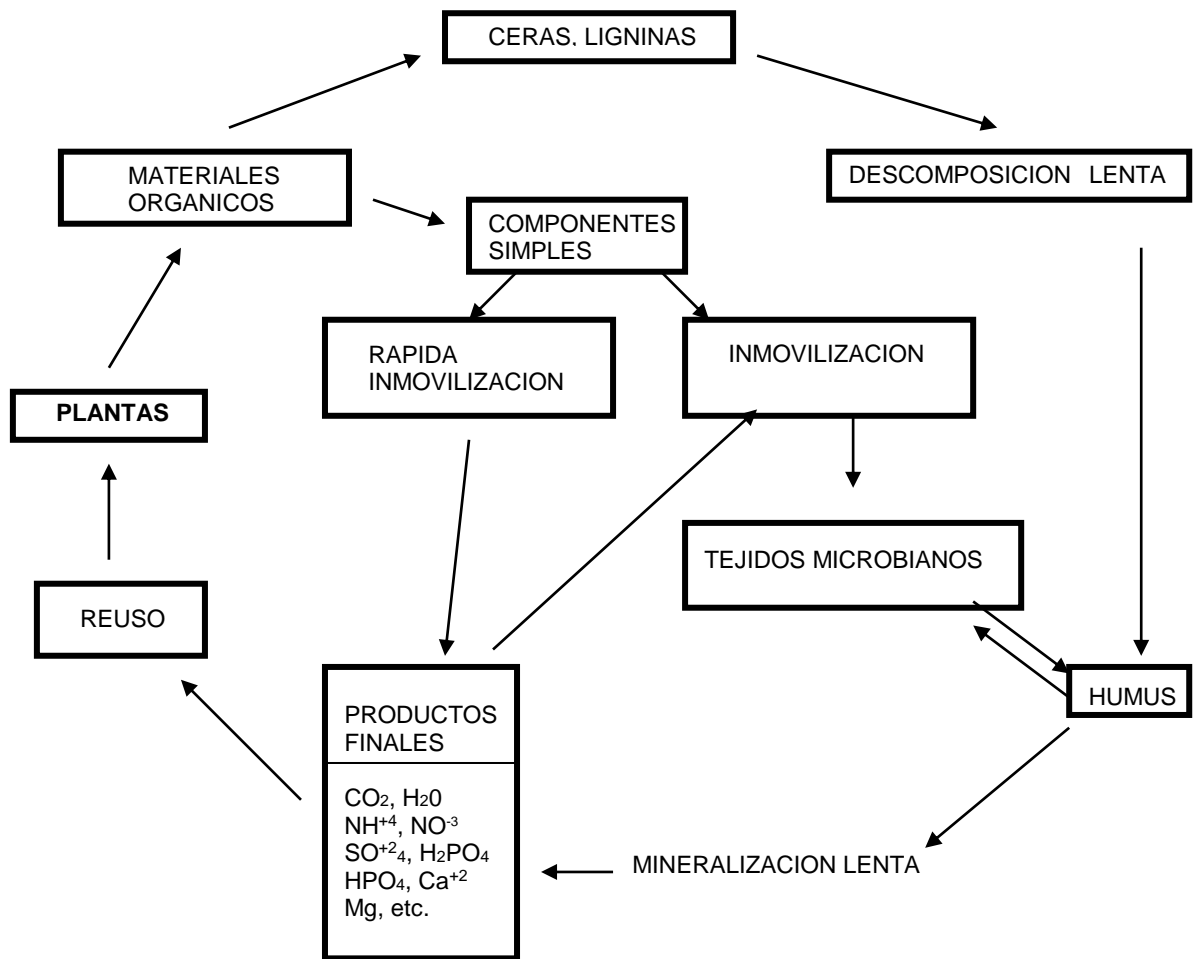


Figura 1. Ciclo de la materia orgánica en el suelo. Bolt, *et. al.* 1978. Citado por Cardoso 1998.

3.- Beneficios y riesgos del uso de biosólidos

Beneficios

Mayor producción de los cultivos. Los biosólidos producidos anaeróbicamente tiene un valor agronómico elevado; de tal manera que un manejo estratégico y sustentable conlleva a una gran rentabilidad y minimiza la acumulación de NO_3^- , P y otros elementos del suelo (Binder *et. al.*, 2002). En comparación con el fertilizante comercial puede incrementar de un 11 a 18% el rendimiento de forrajes. (Uribe *et al.*, 2003).

Mejoramiento de la productividad del suelo. Favorece la fertilidad e incrementa la capacidad de retención del agua. Al mejorar la textura de los suelos, promueve el crecimiento de las raíces y da una mayor densidad a las mismas, permitiendo que las plantas absorban mejor los nutrimentos. (Uribe, *et. al.* 2003).

Recuperación de suelos. Para suelos perturbados por la minería, sitios de construcción y rellenos sanitarios. Mejorando sus características físicas como textura y estructura, además de la provisión de nutrimentos, carbono y servir como retenedor de contaminantes. (Uribe, *et. al.* 2003).

Enriquecimiento de la silvicultura. Promueven el crecimiento de híbridos de álamos y realza el valor estético de árboles de navidad, puede acortar los ciclos de producción de la pulpa de madera, especialmente en los suelos marginales de productividad baja. (Uribe, *et. al.* 2003).

Ganancia económica. Ofrecen una alternativa ambiental segura de disposición, conservando los espacios de rellenos sanitarios sólo para los residuos sólidos de las ciudades (Uribe, *et. al.* 2003), también debe considerarse que contribuye un fertilizante ecológico formidable y económicamente rentable.

Riesgos

Patógenos presentes. Por su contenido de microorganismos patógenos y de parásitos que pueden ser dañinos para los seres humanos, los biosólidos se clasifican en tres clases: 1) clase A, cuando prácticamente no contienen microorganismos patógenos ni parásitos, y pueden aplicarse sin restricción en cualquier sistema agrícola; 2) clase B, cuando el contenido de patógenos es igual al anterior, pero el de parásitos 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; 3) clase C, cuando el contenido de microorganismos patógenos y de parásitos es alto (USEPA 1994, SEMARNAT 2003). (Tabla 6).

Contenido de metales pesados. Por su contenido de metales pesados y su posible uso agrícola los biosólidos se clasifican en tres tipos: 1) excelente, cuando el contenido de metales pesados es muy bajo y pueden aplicarse sin restricción en cualquier sistema agrícola; 2) bueno, cuando el contenido de metales pesados es bajo y pueden aplicarse en un suelo varios años; 3) no apto, cuando el contenido de algún metal pesado es mayor que el límite permitido en el tipo bueno (USEPA 1994 - 40 CFR parte 503-, SEMARNAT 2003).

El Gobierno del Estado de Chihuahua opera una planta de tratamiento de aguas residuales desde el año de 1995, con el fin de cumplir con las leyes ambientales y hacer un uso más eficiente del agua. Dicha planta genera mensualmente 1,200 Ton de biosólidos, digeridos anaeróbicamente, lo cual elimina gran cantidad de patógenos, y con una concentración en metales pesados por debajo de los límites permitidos por las instituciones reguladoras (Tabla 2), lo que los hace aptos para su uso en tierra agrícola como suplemento de fertilizante comercial. (Uribe *et. al.* 2003).

Tabla 2. Concentración de metales pesados (mg/Kg) en muestras de biosólidos de la planta Norte Chihuahua.

METALES PESADOS	MUESTRA		LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*
	FEBRERO 2001	ABRIL 2004	
Cadmio	4.20	2.209	85
Cromo	90.85	129.013	3,000
Mercurio	4.071	3.346	57
Níquel	19.37	16.717	420
Plomo	245.50	67.475	840
Arsénico	----	15.424	75
Cobre	455.06	500.896	4,300
Selenio	----	----	100
Zinc	950.56	2,852.404	7,500
% de humedad	27.20	82.3	

Adaptado: Uribe *et. Al.* (2002). ----- No reportado
 *USEPA (1995-1996) y SEMARNAT (2002).

Por otra parte, los biosólidos ya se han usado en el cultivo de plantas, tanto en Estados Unidos como en México, entre los cuales destacan: alfalfa, maíz forrajero, zacate forrajero, algodón (Uribe, 2000, 2002, 2003 y 2004) tomate, rábano, cilantro y calabacitas (Cardoso, 1998).

En la región agrícola de Delicias, Chihuahua se realizó un estudio con biosólidos digeridos anaeróbicamente en maíz forrajero, trabajando con varias dosis. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: 1) mejoramiento en el suelo, 2) el biosólido proporcionó altos contenidos de nitrógeno y fósforo, elementos de los cuales carece el suelo de esta región, 3) aumento de la producción (Tabla 3). Con el abonado con biosólido aun en bajas dosificaciones, pueden obtenerse rendimientos iguales o mayores que con la fertilización convencional. (Uribe *et. al.* 2003).

Tabla 3. Rendimiento de maíz forrajero con la aplicación de biosólidos y fertilizante químico.

Dosis de biosólido (Ton /ha)	Rendimiento de materia seca (kg/ha)	
	2000	2001
0	10,057	12,893
10	-----	16,212
20	15,613	16,264
30	-----	16,765
40	16,592	16,335
60	15,493	-----
Fertilización química	13,966	14,301

(URIBE, *et. al.* 2003).

No obstante que el biosólido se ha probado en algunos cultivos siguiendo los preceptos legales y técnicos que indican los diferentes organismos encargados de su control, no existen trabajos de aplicación en muchos cultivos, ni ha sido investigada la incorporación de los metales pesados en tejidos del nogal pecanero, que son de los principales contaminantes de este desecho.

Propiedades de los hongos micorrizicos.

Se denomina “micorriza” a una raíz modificada por la colonización de un hongo benéfico especializado, llamado hongo micorrízico.

La aplicación práctica de las micorrizas es factible en los cultivos en los que es habitual una fase de trasplante, como es el caso en Fruticultura, Horticultura, etc. Dado los efectos de las micorrizas como “biofertilizantes” y “bioprotectores” de los cultivos, se acepta que el manejo apropiado de esta simbiosis pueda permitir una reducción significativa de fertilizantes químicos, aspecto clave en una producción sostenible y conservación del ecosistema, con beneficios además económicos, (J. M. Barea. s/ año).

El hongo micorrízico puede absorber con mayor eficacia que la raíz y al penetrar mayor volumen de suelo utiliza más de la reserva de elementos inmóviles, como el fósforo, zinc y molibdeno. La ramificación y engrosamiento de la ectomicorriza y el manto fúngico aumenta la superficie de exploración del sistema radical, por lo que la absorción de agua y de los nutrimentos como: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, y cobre es mayor, también el hongo puede desdoblar complejos minerales y orgánicos del suelo a nutrimentos asimilables por las plantas. Actuando como pelos absorbentes, ya que la raíz del nogal carece de ellos. (Tarango, 2004).

La elección de este hongo en el presente trabajo se fundamenta en el estudio realizado en ciudad Delicias, Chihuahua, durante 2000-2002, para determinar la influencia de las micorrizas en el crecimiento y la concentración foliar de nutrimentos en plantas de nogal pecadero, evaluando el efecto de la inoculación con hongos ectomicorrizicos y endomicorrizicos en plántulas del patrón criollo del nogal conocido como "El General", (Tarango, 2004)

Aislamiento del hongo *Trichoderma*

Este hongo es un microorganismo de la rizosfera, nativo de muchos suelos, donde consume materia orgánica vegetal, es un gran competidor por sustrato y un fuerte antagonista de otros hongos, mediante la producción de antibióticos (trichodermina, dermadina, alametacina) y enzimas. En este trabajo se utilizó un aislamiento *Trichoderma* sp. De la rizosfera de zacates de zona templada, eficaz antagonista de *Phymatotrichopsis omnivora*, hongo que causa pudrición de la raíz de muchas plantas. (González y Velásquez 2002, citado por Tarango 2004).

III.- Justificación

En este trabajo se plantea la oportunidad de probar el uso de biosólidos como abono en el nogal pecanero, atendiendo a la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías de interés económico.

Este árbol es un frutal de alta demanda de nutrimentos, los cuales son requeridos durante todo el ciclo vegetativo; además la nuez se cosecha seis meses después de la incorporación del abono. Por otro lado, los frutos se localizan alejados del suelo.

Dichas características hacen del nogal un cultivo idóneo para el abonado con biosólido.

1.- Metales pesados

Se denominan 'metales pesados' a los elementos metálicos que tienen la densidad más alta de la clasificación periódica; la Norma Oficial Mexicana (Nom 004-Semarnat 2002) establece los parámetros de calidad en el biosólido para su aprovechamiento agrícola, según su contenido de metales pesados, (Tabla 2). En relación con las plantas hay algunos metales pesados que son micronutrimentos esenciales, como Zn, Fe, Cu, Mn y Mo; sin embargo, cuando la concentración de éstos en el ambiente edáfico o foliar es mayor que la requerida, pueden causar daños o toxicidad. Por otra parte, metales como Pb, Hg y Cd, y en menor grado Al, Cr y Ni son considerados como elementos tóxicos, específicamente en altas concentraciones (por ejemplo, concentraciones de Pb de 10 a 20 µg/dl en la sangre en jóvenes, además se ha considerado que el Cd puede ser tóxico en concentraciones promedio de 0.15 µg en el aire o 1 µg en el agua), la acumulación de estos en los ecosistemas se debe a actividades humanas no reguladas por el mismo hombre, (Mengel y Kirkby 1979, Lagerwerff 1983, Breckle 1991, citados por Tarango 1992).

De manera específica, el contenido de metales pesados de los biosólidos es una limitante mayor para su uso agrícola seguro, a mediano y largo plazo, por su acumulación en el suelo y su incorporación a la cadena trófica (Mamais et al. 2000, Snyman et al. 2000, citado por Tarango 2004). Hay una marcada diferencia entre especies vegetales en cuanto a su capacidad para absorber y traslocar metales pesados y en su sensibilidad a éstos. (Tarango 1992).

Un aspecto importante con relación a la acumulación de metales pesados en las plantas es su movilidad en el tejido vascular. Cuando el elemento es poco móvil o inmóvil, al ser absorbido del suelo su concentración en los tejidos de la planta será baja (Mengel y Kirkby 1979, King y Hajjar 1990, citados por Tarango 2004). Este pudiera ser un mecanismo de exclusión de dichos elementos, que evitaría su acumulación en frutos producidos en la parte distal de las ramas de un árbol, como la nuez pecanera.

La aplicación de más de dos dosis por año de biosólidos tiende a incrementar la concentración total de metales pesados en el suelo según transcurre el tiempo. Por ello, deben seguirse de manera estricta las recomendaciones de uso como abono agrícola de los biosólidos (Tabla 4).

Tabla 4. Tasa de aplicación de biosólidos, según la Universidad de Florida.

Opción de disposición	Periodo de disposición	Tasa de aplicación (Ton/Ha)
Uso agrícola	Anual	2 a 60
Uso forestal	Una vez o de 3 a 5 años	8 a 200
Restauración de suelos	Una vez	6 a 400
Exclusivamente disposición final	Anual	200 a 800

Fuente. Fertilidad del Suelo y el Uso de Fertilizantes, Gerald Kidder y Leonel Espinoza, s / año.

2.- Traslocación de metales pesados

En general, los metales pesados se caracterizan por ser directamente asimilables por las plantas (los absorben por las raíces y el follaje, se traslocan por el xilema y el floema), no dependiendo su absorción de la función clorofílica; es decir, pasan a través de la epidermis al torrente circulatorio, desde el cual y con un consumo mínimo de energía entran a formar parte de los diversos tejidos, en especial cuando han soportado condiciones de stress (sequías, heladas, transplantes, plagas, enfermedades, granizo, etc.).

Aplicación de metales pesados en suelos. El suelo posee carga eléctrica negativa y los micronutrientes carga positiva. Así, al poner ambos en contacto se atraen mutuamente, agrupándose cerca de la superficie del suelo. Al estar quelatados los micronutrientes, cambian de carga y toman la misma carga que el suelo. Esta carga mantiene al micronutriente quelatado libre de las partículas del suelo y le permite penetrar hasta el sistema de raíces, donde permanece disponible.

Aplicación foliar de metales pesados. En forma similar a lo que ocurre en suelos, las hojas están negativamente cargadas. El recubrimiento de cera en la superficie de las hojas, la cutícula y las paredes celulares contribuyen a mantener esta carga negativa. El micronutriente no quelatado (positivo) es retenido sobre la superficie de la hoja por las cargas negativas, de forma que la mayor parte no puede penetrar en la planta.

Características de algunos metales pesados. (Tarango 2004).

Aluminio (Al). En suelos ácidos precipita en las raíces, donde interfiere en la absorción del Fe y Ca y en el metabolismo del P.

Arsénico (As). Es un metaloide (Brescia et al. 1969); como sal es tóxico para las plantas y los animales, en cuyos tejidos es acumulable. Los biosólidos generalmente aportan poco de este metal. El As^{+3} sustituye al $-SH$ de las proteínas y el As^{+5} actúa como un análogo de PO_4^{-3} .

Cadmio (Cd). Es un contaminante de los suelos por actividades humanas, incluidas la fertilización fosfatada y la aplicación de biosólidos. El aumento de pH del suelo y su riqueza de Ca reducen la absorción del Cd por las plantas. La acumulación alta del Cd en la cadena trófica resulta dañina para el hombre (0.15 μg en el aire y 1 μg en el agua).

Cobre (Cu). Está fuertemente ligado a las partículas del suelo, pero disponible en el complejo de intercambio para las plantas. Aunque el nogal no es muy sensible a la deficiencia de Cu (Kilby y Mielke 1982), en huertas del centro-sur de Chihuahua su insuficiencia es común. Es esencial para la vida humana, pero en altas dosis puede causar anemia.

Fierro (Fe). Activa diversas reacciones enzimáticas. El contenido de Fe soluble es muy bajo en el suelo, sobre todo a pH alto; su disponibilidad aumenta con la quelatación. El nogal pecanero es eficiente en absorber este nutrimento (Kilby y Mielke 1982, citado por tarango 1992).

Manganeso (Mn). En el suelo la disponibilidad de Mn se reduce conforme aumenta el pH. En huertas del centro-sur de Chihuahua el suelo (no obstante ser calcáreo) y/o el agua proveen con suficiencia este elemento a los nogales.

Molibdeno (Mo). La mayoría de los suelos contiene suficiente Mo disponible, el cual se absorbe mejor en pH alcalino. Su concentración en el tejido vegetal es <1 mg/kg. La concentración normal en suelos agrícolas es de 0.5 a 2 mg/kg. Los biosólidos pueden tener cantidades altas de Mo, particularmente aquellos estabilizados con cal. La disponibilidad del elemento en suelos abonados con biosólidos se mantiene por varios años (McBride et al. 2000).

Mercurio (Hg). Puede afectar el desarrollo de las plantas y acumularse en los animales de la cadena trófica, vía por la que afecta al hombre. En suelos calcáreos el Hg precipita como hidróxido o carbonato ambos poco solubles.

Níquel (Ni). Al formar quelatos puede reemplazar a otros metales en funciones fisiológicas, con la consecuente toxicidad. La mayoría de los suelos agrícolas contienen menos de 1 ppm de Ni y el tejido vegetal de 0.1 a 5 ppm.

Zinc (Zn). La mayoría de los suelos tienen un alto contenido de Zn total, pero comúnmente en forma química no disponible, sobre todo en suelos calcáreos.

La disponibilidad del nutrimento aumenta con la presencia de agentes quelatantes de la materia orgánica y la exploración radical. La toxicidad se puede alcanzar a 1,000 ppm en el follaje. Los frutales son muy sensibles a la deficiencia de Zn, particularmente el nogal pecanero.

3.- Microorganismos patógenos y parásitos

a).- Los biosólidos tienen un alto contenido de microorganismos, muchos de ellos inocuos, pero los de origen fecal son potencialmente dañinos al hombre o los animales (Tabla 6). Las bacterias son los microbios más numerosos, cuya actividad es intensa durante la digestión del lodo residual (biosólido). Los virus se adhieren a la materia sólida de los lodos y su eliminación es difícil. Los parásitos se encuentran en formas vegetativas (huevos), por lo que son muy difíciles de destruir. (Tarango 2004).

b).- Por su riqueza de materia orgánica y nitrógeno la adición de biosólidos a un suelo incrementa de manera significativa la población y la actividad microbiana, lo cual favorece la mineralización de nutrimentos (Seaker y Sopper 1988, citado por Tarango 2004). Se genera una fuerte competencia entre bacterias y hongos y entre especies de hongos en el ambiente edáfico (Kinsbursky et al. 1989, citado por Tarango 2004).

c).- La calidad de los biosólidos que produce la planta de la ciudad de Chihuahua es clase C, en cuanto a patógenos y parásitos, ya que tienen alta concentración de coliformes fecales, aceptable de *Salmonella* y huevos viables de helmintos (Uribe et al. 2004); esto significa que la eficacia de su procesamiento en la supresión de patógenos es insuficiente y su uso agrícola está condicionado a dejar un largo intervalo de tiempo entre su aplicación y la cosecha; y en cuanto a metales pesados su clasificación es excelente. (SEMARNAT 2003).

Tabla 5. Indicadores y límites máximos permisibles para la clasificación microbiológica de los biosólidos.

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

Adaptado de: SEMARNAT (2003). NMP numero más probable. * Huevos de helmintos viables.

Para la clasificación microbiológica de los biosólidos y su posible uso como abono agrícola, la Norma Oficial Mexicana utiliza los criterios indicados en el Tabla 6.

Tabla 6. Microorganismos patógenos y parásitos que pueden estar presentes en lodos residuales y su vida media en el suelo.

Tipo	Género	Tiempo de supervivencia
Bacterias	Coliformes fecales	38 días
	<i>Salmonella</i>	15-280 días
	<i>Shigella</i>	42 días
	<i>Escherichia</i>	
	<i>Clostridium</i>	
	<i>Vibrio</i>	
	<i>Leptospira</i>	
Virus	<i>Mycobacterium</i>	180 días
	Poliovirus	Enterovirus 8 días
	Coxsackievirus	
	Echovirus	
	Adenovirus	
	Rotavirus	
	Reovirus	
Protozoarios	Hepatitis A	
	<i>Entamoeba</i>	6-8 días
	<i>Giardia</i>	
Trematodos Cestodos Nemátodos	<i>Cryptosporidium</i>	
	<i>Schistosoma</i>	
	<i>Taenia</i>	
	<i>Ascaris</i> <i>Anchylostomum</i>	7 años (huevos)

Adaptado de: Gamrasni (1985). Citado por Tarango 1992.

IV.- Objetivos

1.- Objetivo general

Evaluar el comportamiento de los metales pesados, al usar biosólidos como abono en el cultivo del nogal pecanero.

2.- Objetivos particulares

2.1.- Medir la concentración de metales pesados como: As, Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, P, Pb, Zn acumulados en folíolos (hojas), ruezno y almendra del nogal pecanero.

2.2.-Evaluar estadísticamente las diferencias que presenten las combinaciones de seis diferentes tratamientos, como grupo de biosólidos vs grupo de fertilizante comercial (45-15-15, NPK).

V.- Materiales y métodos

El estudio se realizó en Delicias, Chihuahua, durante el año 2004.

Sitio experimental. El trabajo se estableció en la huerta nogalera Rancho Trincheras. El material vegetal fueron nogales de la variedad Western, de ocho años de edad al inicio del estudio. Los árboles están plantados a una distancia de 12 x 12 m y cada uno cuenta con un microaspersor de 100 LPH para su riego. Las raíces tienen una profundidad de hasta 80 cm. Las características del suelo se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Características físicas y químicas del suelo del Rancho Trincheras. Análisis* previo al inicio del experimento.

Determinación	Profundidad (cm)		
	0-30	30-60	60-90
Textura	Arena migajonosa	Arena migajonosa	Migajón arcillo arenosa
pH	7.48	7.01	7.52
CE (mmho/cm)	1.06	2.63	2.26
Salinidad	Libre	Libre	Libre
MO (%)	0.03	0.78	0.65
Carbonatos (%)	0.66	38.8	25.9
Nitratos (mg/kg)	9.8	10.02	9.06
P (mg/kg)	40.03	30.06	38.08
K (mg/kg)	161.0	113.0	112.0
Ca (meq/L)	7.99	49.94	35.19
Mg (meq/L)	0.73	3.17	3.78
Fe (mg/kg)	1.8	1.51	1.07
Zn (mg/kg)	34.5	3.25	46.0
Cu (mg/kg)	0.28	0.05	0.03
Mn (mg/kg)	1.79	5.22	3.51
Na (meq/L)	7.84	14.27	13.76
HCO ₃ (meq/L)	2.88	3.24	1.62
Cloruros (meq/L)	5.28	4.4	6.16
Sulfatos (meq/L)	8.59	60.05	44.97

*Realizado en el laboratorio de la FCAF-UACH.

El manejo de los nogales incluye una poda de aclareo y despunte en febrero. Del 15 de marzo al 25 de septiembre de cada año se irrigaron cada ocho días, con un tiempo de riego de 24 h, por lo que cada árbol recibió 2,400 L de agua por semana. A todos los árboles del experimento se les asperjó una solución de 200 mL de Tracite (nitrato de zinc al 17%, fertilizante que se aplica al follaje) en 100 L de agua dos veces en abril, dos en mayo y una en junio. La hierba se segó periódicamente para mantenerla controlada y en la zona de goteo se aplicó herbicida dos veces por temporada. Los insectos se trataron con el criterio de manejo integrado de plagas, con énfasis en el control biológico.

1.-Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente aleatorizado y cuatro repeticiones por tratamiento, siendo el factor involucrado; tratamiento. Cada nogal fue una repetición. Se evaluaron los siguientes tratamientos:

1. Testigo, fertilización comercial. Se utilizó la fórmula 45-15-15, g/cm de diámetro de tronco de N-P-K; el 15 de marzo se aplicó el 50% del N y todo el P y K, posteriormente el 15 de mayo el 50% del N restante. Como fuente se usó nitrato de amonio, fosfato monoamónico y nitrato de potasio.
2. Fertilización comercial + hongos micorrízicos. Se usó el producto Mycor Tree Ectoinjectable® (con 4×10^6 y 4×10^5 esporas de *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma* sp. por gramo de producto, respectivamente), en dosis de 0.6 g/m² de área de goteo. En un área de 4x4 m (con el árbol en el centro), el 1 de abril se aplicaron 16 inyecciones (con una presión de 250 PSI), de 3 L cada una, a 30 cm de profundidad, de una suspensión del inóculo equivalente. (9.6 g de inoculante en 48 L de agua por árbol).

3. Fertilización comercial + hongos micorrízicos + hongo *Trichoderma*. El 1 de abril se aplicaron 25 mL/m² de arroz con esporas del micoparásito, haciendo un hoyo con barra a 15 cm de profundidad, cubriendo una zona de goteo de 4x4 m.
4. Abonado con biosólidos. Se utilizó material de la planta de la ciudad de Chihuahua (planta Norte de tratamiento de aguas residuales). Para el cálculo de la dosis de biosólido equivalente a 45 g de N/cm de diámetro de tronco, se consideró que el biosólido tuvo un 3.5% de N en base seca y una mineralización del 50% del N el primer año (análisis hecho en Unifrut, con el método kheldjal). Con este supuesto se aplicaron 2,572 g de biosólido/cm de diámetro de tronco, esparcidos en los primeros 2/3 del área de goteo e incorporado con rastra (una herramienta agrícola para rastrar el suelo), se incorporaron a 10 cm (pero sus elementos una vez transformados y diluidos pueden lixiviarse hasta el subsuelo).
5. Abonado con biosólidos + hongos micorrízicos (aplicados igual al tratamiento 2).
6. Abonado con biosólidos + hongos micorrízicos + hongo *Trichoderma* (aplicados igual al tratamiento 3).

Simbología usada en las tablas:

- T1.- Testigo (fertilización comercial)
- T2.- Fertilización comercial + hongos micorrizicos
- T3.- Fertilización comercial + hongos micorrizicos + hongos *Trichoderma sp.*
- T4.- Biosólidos
- T5.- Biosólidos + hongos micorrizicos
- T6.- Biosólidos + hongos micorrizicos + hongos *Trichoderma sp.*

2.- Medición de la concentración de los metales pesados en hoja, almendra y ruezno

La primera semana de septiembre del 2004, se recolectaron ocho foliolos por árbol, se llevaron a los laboratorios para su análisis. En la cosecha (octubre 2004), se recolectaron 10 nueces por árbol, de las cuales se obtuvo su almendra que se almacenó en bolsa de polietileno herméticamente cerrada a 5 °C y se separó el ruezno almacenándolo en bolsas de papel estraza.

3.- Digestión y análisis de la muestra

Preparación de la muestra, (Angélica Sadzawka. 2004)

La preparación de la muestra de tejidos vegetales es crítica para obtener resultados analíticos confiables, por lo que se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

1. Se examinaron las muestras de tejido y se revisó para partículas extrañas.
2. Las partículas de polvo se eliminaron con un cepillo.
3. Después de la descontaminación las muestras se secaron :
 - a). Se introdujeron en bolsas de papel.
 - b). Se colocaron en una mufla a $650\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, por 32 horas.
4. Una vez seca la muestra se molió, en una licuadora.
5. Se homogeneizaron, sobre una tela (hule) de 60 x 60 cm., después se colocaron en un recipiente hermético de plástico y se almacenó en un lugar oscuro, frío y seco.

Los procedimientos analíticos seleccionados fueron:

- Para los metales *aluminio, cadmio, cobre, cromo, plomo, níquel, zinc, fierro, calcio, fósforo* se usó digestión por vía húmeda y se evaluaron por Espectrometría de emisión por plasma (ICP). (Briggs and Meier, 1999).
- Para *mercurio y arsénico*, se usó digestión por vía húmeda, cuantificados por Espectrometría de absorción atómica con Generador de hidruros (GH). (Hageman and Welsch, 1996).

- Selección de líneas analíticas, por medio de espectrometría de emisión por plasma para concentraciones de ppm y por absorción atómica con generador de hidruros para concentraciones de ppb, de cada elemento según corresponda: (Tablas 8 y 9).

Tabla 8. Longitudes de onda de cada elemento en Espectrometría de emisión por plasma (ICP).

Elemento	Longitud de onda (nm)	Elemento	Longitud de onda (nm)
Ca	396.847{65}	Cd	226.502{115}
Cu	324.754{80}	Pb	220.353{118}
Al	308.215{85}	P	213.618{121}
Cr	284.325{91}	Zn	213.856{121}
Fe	259.940{100}		
Ni	231.604{112}		

Fuente: Laboratorio de Análisis Químicos, Cimav.

Tabla 9. Longitudes de onda de cada elemento en Espectrometría de absorción atómica con Generador de hidruros (EAA-GH).

Elemento	Longitud de onda (nm)
As	193.7
Hg	253.7

Fuente: Laboratorio de Análisis Químicos, Cimav.

4.- Tratamiento de las muestras

a.- Para la digestión de cada muestra; en un vaso de precipitado de 250 mL, se pesaron 0.5 gramos de muestra en la balanza analítica.

b.- Se agregaron 15 mL de ácido nítrico.

c.- Se colocaron en la parrilla a temperatura constante de 60 °C; en caso de los tejidos hoja y ruzno, menos de 24 horas y en la almendra por 26 horas (tarda en digerirse por el aceite que contiene).

d.- Se filtraron (papel whatman no. 2 para hoja y ruzno, y no. 42 para almendra), posteriormente se aforaron a 100 mL en un matraz volumétrico.

e.- Análisis por ICP o EAA-GH dependiendo de cada elemento.

f.- Límites de detección (para 10 mL de ácido nítrico) de los equipos (3 del blanco), correspondientes a cada elemento:

Elemento	Límite	Elemento	Límite
Ca	0.010	Cd	0.0034
Cu	0.0054	Pb	0.042
Al	0.045	P	0.076
Cr	0.0071	Zn	0.0018
Fe	0.0062	As	----
Ni	0.015	Hg	----

Fuente: Laboratorio de Análisis Químicos, Cimav. ---- no se reportan por estar en ppb.

Cálculos

- Con las lecturas del ICP y el EAA-GH y la siguiente fórmula se obtuvo la concentración de metal en cada muestra:

$$C \text{ (ppm)} = \frac{C_o \times D1}{W}$$

C (ppm) = Contenido del elemento

C_o = Concentración de la solución en µg/mL

D1 = volumen aforado

W = peso de la muestra en g

VI.- Resultados y discusión

A continuación se presentan dos tipos de tablas de resultados para cada elemento, una primera incluye las medias de la concentración de cada metal en los tres tejidos de la planta, para los diferentes tratamientos. Y la segunda representa los valores del anova, aunado el valor del contraste ortogonal fertilizante comercial vs biosólidos ($H_0: \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 = \mu_4 + \mu_5 + \mu_6$; $H_a: \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 \neq \mu_4 + \mu_5 + \mu_6$), en caso de que este sea necesario. El orden en que aparecen obedece a un criterio alfabético.

Tabla 10. Concentración de aluminio (ppm) en tres tejidos de nogal pecanero abonado con fertilizante comercial y biosólidos.

Tejidos	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
HOJAS P>F = 0.0194	179.15 a b	125.64 a b	97.18 b	289.10 a	88.23 b	102.25 b
RUEZNO P>F = 0.7682	35.88 a	66.40 a	57.65 a	50.78 a	35.05 a	73.65 a
ALMENDRA P>F = 0.4886	18.825 a	28.975 a	19.550 a	10.250 a	13.300 a	17.725 a

Las letras a, b indican nivel de significación, Tukey < 0.05

Tabla 10.a Valor de la varianza de aluminio (Al) en los tres tejidos del nogal pecanero y comparación entre grupos.

Tejido	Fuente de variación	Grados de libertad (DF)	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P > F
Hoja	Tratamiento	5	118452.5880	23690.5176	3.61	0.0194
	Contraste	1	4015.800104	4015.800104	0.61	0.4441
	Error	18	118047.5644	6558.1980		
	Total	23	236500.1524			
Ruezno	Tratamiento	5	4990.78833	998.15767	0.37	0.8593
	Error	18	47923.58500	2662.42139		
	Total	23	52914.37333			
Almendra	Tratamiento	5	838.467083	167.693417	0.97	0.4198
	Error	18	3099.7825	172.210139		
	Total	23	3938.2495			

En la tabla 10, se muestra la concentración del aluminio, en tres tejidos de la planta, con seis diferentes tratamientos, observándose una significación en hojas de $P > F = 0.0194$, cuando se abono con biosólidos (T4). En la tabla 10.a nos muestra diferencia significativa entre tratamientos, y al hacer el contraste ortogonal, que nos sirve para saber si hay diferencia significativa entre grupos de fertilizante comercial vs grupo de biosólidos, no muestra significación. En el ruezno y la almendra no se observa significación entre los tratamientos, aunque se acumula más con los tratamientos T6 (biosólidos + micorrizas + *Trichoderma*) en ruezno y T2 (fertilizante comercial + micorrizas) en almendra. En el caso de este elemento la almendra que es el tejido de mayor importancia para nuestro trabajo podemos observar que el grupo de biosólidos concentra menos que el grupo de fertilizante comercial.

Tabla 11. Concentración de arsénico (ppm) en tres tejidos de nogal pecanero abonado con fertilizante comercial y biosólidos.

Tejidos	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
HOJAS $P > F = 0.4188$	1.850 a	1.400 a	0.1475 a	1.025 a	1.000 a	0.550 a
RUEZNO $P > F = 0.1820$	0.100 a	0.051 a	0.0225 a	0.0500 a	0.200 a	0.5750 a
ALMENDRA $P > F = 0.3570$	1.500 a	0.275 a	1.225 a	0.000 a	0.500 a	2.700 a

Las letras a indican nivel de significación, Tukey < 0.05

Tabla 11.a. Valor de la varianza de arsénico (As) en los tres tejidos del nogal pecanero y comparación entre grupos.

Tejido	Fuente de variación	Grados de libertad (DF)	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P > F
Hoja	Tratamiento	5	7.64452	4.528904	0.95	0.4732
	Error	18	28.96457	1.60914		
	Total	23	36.60905			
Ruezno	Tratamiento	5	0.88649	0.177298	1.39	0.2754
	Error	18	2.299742	0.127763		
	Total	23	3.186232			
Almendra	Tratamiento	5	19.838333	3.96766	1.18	0.3552
	Error	18	60.27500	3.348611		
	Total	23	80.11333			

En la Tabla 11, se muestra la concentración del As, no se observa diferencia entre la concentración de este elemento en tratamientos y tejidos, al aplicar fertilizante comercial o abonar con biosólidos, esto nos dice que no aportan al fruto ni a las hojas arsénico adicional a aquel que se tiene con la fertilización comercial, no se detectó ningún efecto aparente con la inclusión de los hongos micorrizícos y *Trichoderma*.

Tabla 12. Concentración de cadmio (ppm) en tres tejidos de nogal pecanero abonado con fertilizante comercial y biosólidos.

Tejidos	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
HOJAS P>F = 0.4638	0.100 a	0.500 a	0.000 a	0.3250 a	0.2250 a	0.1250 a
RUEZNO P>F = 0.1844	0.300 a	0.000 a	0.175 a	0.000 a	0.000 a	0.225 a
ALMENDRA P>F = 0.0002	0.000 b	0.000 b	0.0250 b	0.1500 b	0.0250 b	0.450 a

Las letras a, b indican nivel de significación, Tukey < 0.05

Tabla 12.a. Valor de la varianza de cadmio (Cd) en los tres tejidos del nogal pecanero y comparación entre grupos.

Tejido	Fuente de variación	Grados de libertad (DF)	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P > F
Hoja	Tratamiento	5	0.7670833	0.15341667	1.25	0.3259
	Error	18	2.202500	0.1223611		
	Total	23	2.969583			
Ruezno	Tratamiento	5	0.358333	0.071666	1.47	0.2469
	Error	18	0.875000	0.0486111		
	Total	23	1.233333			
Almendra	Tratamiento	5	0.623333	0.124666	8.16	0.0004
	Contraste	1	0.240000	0.240000	15.71	0.0009
	Error	18	0.275000	0.0152777		
	Total	23	0.898333			

En la Tabla 12, se muestra la concentración del cadmio, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la aplicación del fertilizante comercial o biosólidos en la hoja y el ruezno.

Se observa una tendencia a que la almendra acumule mas cadmio en el T6 (biosólidos + micorrizas + *Trichoderma*), dando una significación de $P>F= 0.0004$, según el anova, encontrando posteriormente en el contraste ortogonal diferencia significativa entre los dos grupos de tratamientos.

Tabla 13. Concentración de cromo (ppm) en tres tejidos de nogal pecanero abonado con fertilizante comercial y biosólidos.

Tejidos	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
HOJAS $P>F = 0.0812$	3.875 a	0.475 a	8.500 a	0.000 a	0.000 a	0.625 a
RUEZNO $P>F = 0.1475$	0.00 a	6.13 a	0.00 a	6.68 a	16.58 a	75.05 a
ALMENDRA $P>F = 0.3700$	0.000 a	0.600 a	0.000 a	0.000 a	0.175 a	0.850 a

Las letras a indican nivel de significación, Tukey < 0.05

Tabla 13.a. Valor de la varianza de cromo (Cr) en los tres tejidos del nogal pecanero y comparación entre grupos.

Tejido	Fuente de variación	Grados de libertad (DF)	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P > F
Hoja	Tratamiento	5	230.477083	46.095416	1.81	0.1615
	Error	18	458.28250	25.46013		
	Total	23	688.759583			
Ruezno	Tratamiento	5	16687.49708	3337.49942	1.45	0.2561
	Error	18	41565.91250	2309.21736		
	Total	23	58253.40958			
Almendra	Tratamiento	5	2.6920833	0.53841667	0.96	0.4657
	Error	18	10.057500	0.5587500		
	Total	23	12.7495833			

En la Tabla 13, se muestra la concentración del Cr, no se encontró una diferencia significativa entre tratamientos en los diferentes tejidos, aunque se acumula mas de Cr cuando se aplicó fertilizante comercial; por el contrario en el ruezno y la almendra hay más concentración de este elemento en los tratamientos T4, T5, T6.

Tabla 14. Concentración de cobre (ppm) en tres tejidos de nogal pecanero abonado con fertilizante comercial y biosólidos.

Tejidos	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
HOJAS P>F = 0.0068	15.050 a b	13.875 a b	21.050 a	13.775 a b	17.600 a b	10.55 a b
RUEZNO P>F = 0.1616	4.900 a	6.975 a	4.700 a	6.750 a	10.975 a	8.875 a
ALMENDRA P>F = 0.0560	8.600 a	5.825 a	0.000 a	0.0000 a	0.000 a	2.275 a

Las letras a, b indican nivel de significación, Tukey < 0.05

Tabla 14.a. Valor de la varianza de cobre (Cu) en los tres tejidos del nogal pecanero y comparación entre grupos.

Tejido	Fuente de variación	Grados de libertad (DF)	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P > F
Hoja	Tratamiento	5	261.3283333	52.2656667	4.35	0.0091
	Contraste	1	43.20166667	43.20166667	3.59	0.0742
	Error	18	216.4450000	12.0247222		
	Total	23	477.7733333			
Ruezno	Tratamiento	5	115.3970833	23.0794167	1.32	0.2988
	Error	18	313.9925000	17.4440278		
	Total	23	429.389583			
Almendra	Tratamiento	5	266.338333	53.26766	2.68	0.0560
	Error	18	358.175000	19.898611		
	Total	23	624.513333			

En la Tabla 14, mostramos la cuantificación de cobre, en las hojas el T3 (fertilizante comercial + micorrizas + *trichoderma*) tuvo mayor concentración del elemento, con una diferencia significativa alta entre los demás tratamientos, este elemento sugiere la posibilidad de mecanismos en el suelo que regulan la disponibilidad y absorción del mismo por los nogales. Sin embargo, en el ruezno y la almendra la significación esta por arriba de 0.05, lo que nos dice que no hay diferencia entre tratamientos en estos dos tejidos.

Tabla 15. Concentración de hierro (ppm) en tres tejidos de nogal pecanero abonado con fertilizante comercial y biosólidos.

Tejidos	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
HOJAS P>F = 0.0148	91.95 a b	88.58 a b	157.23 a	82.60 b	81.85 b	65.60 b
RUEZNO P>F = 0.4923	22.65 a	19.10 a	30.45 a	28.68 a	63.20 a	68.23 a
ALMENDRA P>F = 0.5658	17.75 a	19.35 a	29.75 a	33.88 a	26.23 a	36.88 a

Las letras a, b indican nivel de significación, Tukey < 0.05

Tabla 15.a. Valor de la varianza de hierro (Fe) en los tres tejidos del nogal pecanero y comparación entre grupos.

Tejido	Fuente de variación	Grados de libertad (DF)	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P > F
Hoja	Tratamiento	5	20451.07833	4090.21567	3.87	0.0148
	Contraste	1	7732.860000	7732.860000	7.31	0.0145
	Error	18	19040.79500	1057.82194		
	Total	23	39491.87333			
Ruezno	Tratamiento	5	9129.19833	1825.83967	0.86	0.5241
	Error	18	38053.67500	2114.09306		
	Total	23	47182.8733			
Almendra	Tratamiento	5	1227.1970	245.439417	0.82	0.5505
	Error	18	5379.612500	298.867361		
	Total	23	6606.80958			

En la tabla 15, se muestra la concentración del hierro, en hojas la concentración fue significativamente mayor con el tratamiento T3, aunado tenemos una marcada diferencia entre los dos grupos de tratamientos según el contraste ortogonal $P > F = 0.0145$, este metal es un micronutriente, por lo que la planta absorbe lo necesario para su crecimiento. En cambio en el ruezno y la almendra, hay una tendencia a aumentar cuando es abonado con biosólidos.

Tabla 16. Concentración de mercurio (ppm) en tres tejidos de nogal pecanero abonado con fertilizante comercial y biosólidos.

Tejidos	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
HOJAS P>F = 0.0025	0.050 b	0.500 a b	0.025 b	0.0925 b	0.750 a	0.0475 b
RUEZNO P>F = 0.0072	0.2525 a b	0.0725 b	0.2250 a b	0.0025 b	0.0025 b	1.200 a
ALMENDRA P>F = 0.4457	0.000 a	0.025 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a

Las letras a, b indican nivel de significación, Tukey < 0.05

Tabla 16.a. Valor de la varianza de mercurio (Hg) en los tres tejidos del nogal pecanero y comparación entre grupos.

Tejido	Fuente de variación	Grados de libertad (DF)	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P > F
Hoja	Tratamiento	5	1.8749333	0.374986667	4.64	0.0068
	Contraste	1	0.06615000	0.06615000	0.82	0.3775
	Error	18	1.4544500	0.08080278		
	Total	23	3.32938333			
Ruezno	Tratamiento	5	4.18087083	0.83617417	4.62	0.0069
	Contraste	1	0.28383750	0.28383750	1.57	0.2267
	Error	18	3.26022500	0.18112361		
	Total	23	7.44109583			
Almendra	Tratamiento	5	0.0020833	0.00041667	1.00	0.4457
	Error	18	0.0075000	0.00041667		
	Total	23	0.0095833			

En la Tabla 16, se muestra la concentración del mercurio, presentando mayor concentración con el T5 (biosólidos + micorrizas), en las hojas con una significación de P>F=0.0025, y en ruezno tenemos una significación de P>F= 0.0072 con una mayor concentración con el tratamiento T6, en almendra (la parte comestible del fruto del nogal) exhibió cantidades difícilmente detectables de este metal.

Tabla 17. Concentración de níquel (ppm) en tres tejidos de nogal pecanero abonado con fertilizante comercial y biosólidos.

Tejidos	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
HOJAS P>F = 0.0069	0.38 b	2.18 b	28.03 a	6.10 a b	5.08 a b	5.40 a b
RUEZNO P>F = 0.4003	0.13 a	0.28 a	0.21 a	7.43 a	41.33 a	36.79 a
ALMENDRA P>F = 0.0285	0.875 b	2.900 a b	7.225 a	3.625 a b	4.250 a b	7.925 a

Las letras a, b indican nivel de significación, Tukey < 0.05

Tabla 17.a. Valor de la varianza de níquel (Ni) en los tres tejidos del nogal pecanero y comparación entre grupos.

Tejido	Fuente de variación	Grados de libertad (DF)	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P > F
Hoja	Tratamiento	5	2047.508333	409.501667	3.49	0.0223
	Contraste	1	130.6666667	130.6666667	1.11	0.3055
	Error	18	2114.270000	117.459444		
	Total	23	4161.778333			
Ruezno	Tratamiento	5	7489.60593	1497.92119	1.01	0.4422
	Error	18	26788.39800	1488.24433		
	Total	23	34278.00393			
Almendra	Tratamiento	5	142.713333	28.542667	2.15	0.1057
	Contraste	1	15.3600000	15.3600000	1.16	0.2962*
	Error	18	238.90000	13.272222		
	Total	23	381.61333			

* Se realizó el contraste, para verificar el valor anterior de probabilidad.

En la Tabla 17, se muestra la concentración de níquel, en este caso tenemos mayor concentración en el T3 en hojas, aunque se tiene diferencia significativa entre tratamientos no así entre los grupos no teniendo efecto los biosólidos en el aporte de este metal. En almendra se observó una tendencia a que el biosólido aporte mas níquel que el fertilizante, en ambas fuentes de nutrimentos el efecto de los hongos favorece a la concentración del metal.

Tabla 18. Concentración de plomo (ppm) en tres tejidos de nogal pecanero abonado con fertilizante comercial y biosólidos.

Tejidos	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
HOJAS P>F = 0.2591	12.450 a	0.375 a	5.250 a	0.000 a	2.050 a	2.825 a
RUEZNO P>F = 0.5662	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.53 a	5.10 a	33.53 a
ALMENDRA P>F = 0.0177	2.300 b	2.375 b	20.550 a	11.050 a b	17.150 a b	7.925 a b

Las letras a, b indican nivel de significación, Tukey < 0.05

Tabla 18.a. Valor de la varianza de plomo (Pb) en los tres tejidos del nogal pecanero y comparación entre grupos.

Tejido	Fuente de variación	Grados de libertad (DF)	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P > F
Hoja	Tratamiento	5	460.517083	92.103417	1.16	0.3671
	Error	18	1431.38250	79.521250		
	Total	23	1891.899583			
Ruezno	Tratamiento	5	3579.03000	715.80600	0.94	0.4818
	Error	18	13778.77500	765.48750		
	Total	23	17357.80500			
Almendra	Tratamiento	5	1139.840000	227.9680000	3.40	0.0246
	Contraste	1	79.20666667	79.20666667	1.18	0.2917
	Error	18	1208.465000	67.136944		
	Total	23	2348.30500			

En la Tabla 18, se muestra la concentración de plomo, en las hojas la concentración de este elemento no resulto afectada por la incorporación de biosólidos, aunque en el ruezno la tendencia es aumentar en el T6; en la almendra tenemos una diferencia significativa de P>F= 0.0177 con una concentración en el T3, pero no de grupos siendo el mas beneficiado el grupo de biosólidos.

Tabla 19. Concentración de zinc (ppm) en tres tejidos de nogal pecanero abonado con fertilizante comercial y biosólidos.

Tejidos	Tratamientos					
	1	2	3	4	5	6
HOJAS P>F = 0.0402	119.45 a b	95.40 a b	88.63 a b	62.95 b	73.93 a b	125.98 a
RUEZNO P>F = 0.0142	28.45 a b	6.98 b	12.05 a b	9.75 a b	25.98 a b	47.53 a
ALMENDRA P>F = 0.3466	21.25 a	55.78 a	53.33 a	39.60 a	43.25 a	44.75 a

Las letras a, b indican nivel de significación, Tukey < 0.05

Tabla 19.a. Valor de la varianza de zinc (Zn) en los tres tejidos del nogal pecanero y comparación entre grupos.

Tejido	Fuente de variación	Grados de libertad (DF)	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	P > F
Hoja	Tratamiento	5	12268.64375	2453.72875	2.44	0.0746
	Contraste	1	1100.260417	1100.260417	1.09	0.3097*
	Error	18	18125.30250	1006.96125		
	Total	23	30393.94625			
Ruezno	Tratamiento	5	4733.89375	946.77875	2.80	0.0486
	Contraste	1	853.2337500	853.2337500	2.52	0.1298
	Error	18	6093.47250	338.52625		
	Total	23	10827.3665			
Almendra	Tratamiento	5	3030.21333	606.04267	0.86	0.5270
	Error	18	12700.24500	705.56917		
	Total	23	15730.45833			

* Se realizó el contraste, para verificar el valor anterior de probabilidad.

En la Tabla 19, se muestra la concentración del zinc, observándose con mayor concentración en hojas y ruezno, para el tratamiento T6 (biosólidos + micorrizas + *trichoderma*), los cuales son muy sensible a los cambios por parte de dicho nutrimento (Tarango 1992). Coincidiendo lo anterior con lo reportado por Tarango *et. al.* 2004, de que los hongos ectomicorrízicos pueden mejorar la absorción de zinc por el nogal pecanero en suelos calcáreos.

En las Figuras que se presentan a continuación observamos las relaciones de concentración en los diferentes tratamientos por grupos de elementos: traza < 2.0 ppm (Figura 2), minoritarios < 30 ppm (Figura3), mayoritarios > 100 ppm (Figura 4).

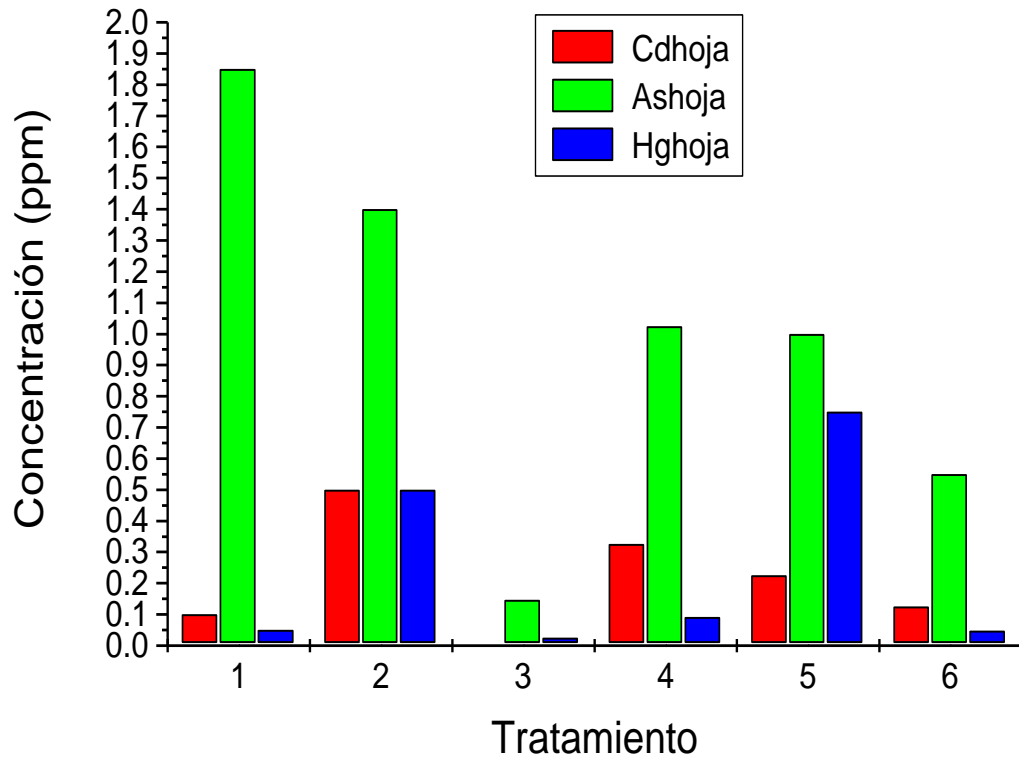


Figura 2. Concentración vs tratamientos de elementos traza en hoja de Cd, As, Hg, < 2.0 ppm.

En la Figura 2, se comparan las concentraciones de los elementos traza, con concentración menor de 2.0 ppm, observando mayor concentración del As en el T1 (fertilizante comercial), en cuanto al Cd y Hg las concentraciones tienen tendencias por debajo de 0.8 ppm.

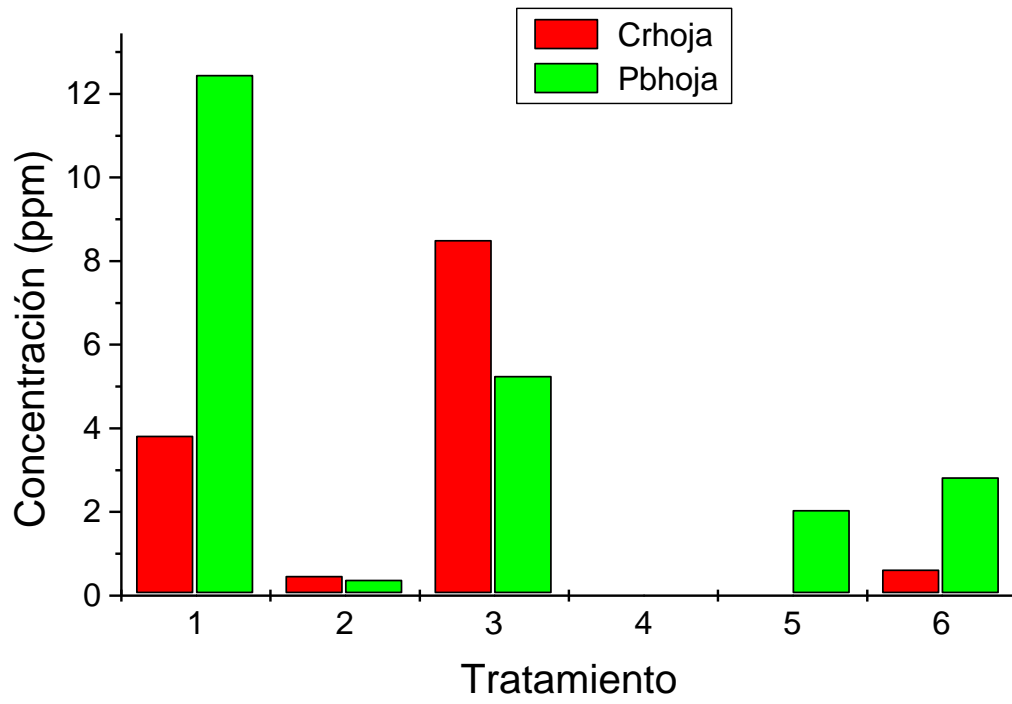


Fig. 3

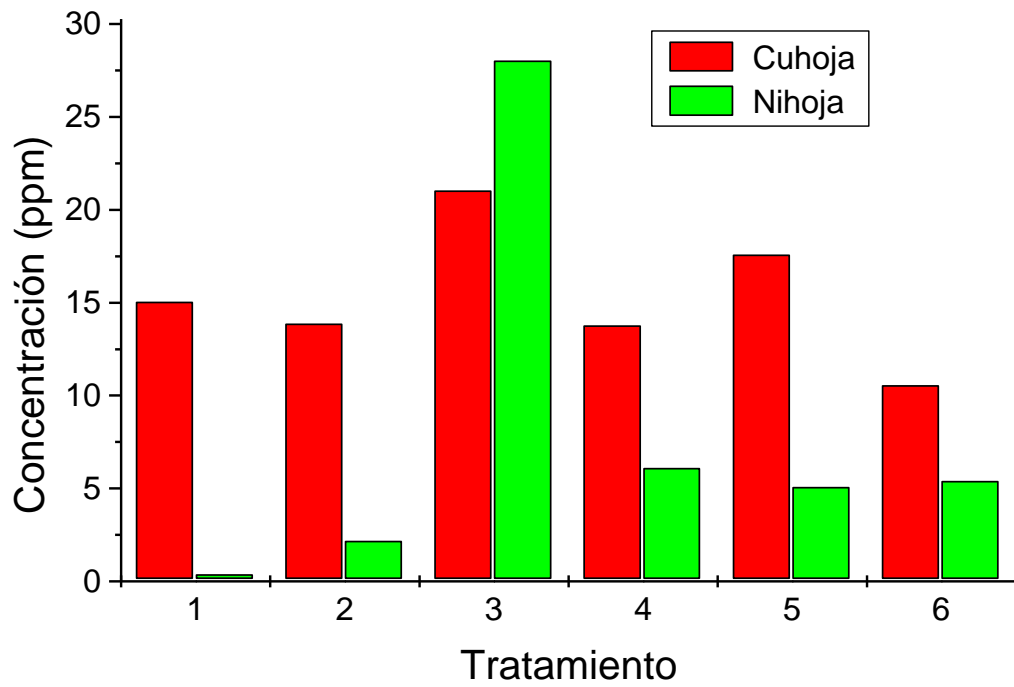


Fig. 4

En la Figura 3 y 4, Concentración vs tratamientos de elementos minoritarios en hoja de Cr, Pb, Cu y Ni < 30 ppm, se observa en el plomo mayor concentración en el T1 y el níquel mas concentración en el T3.

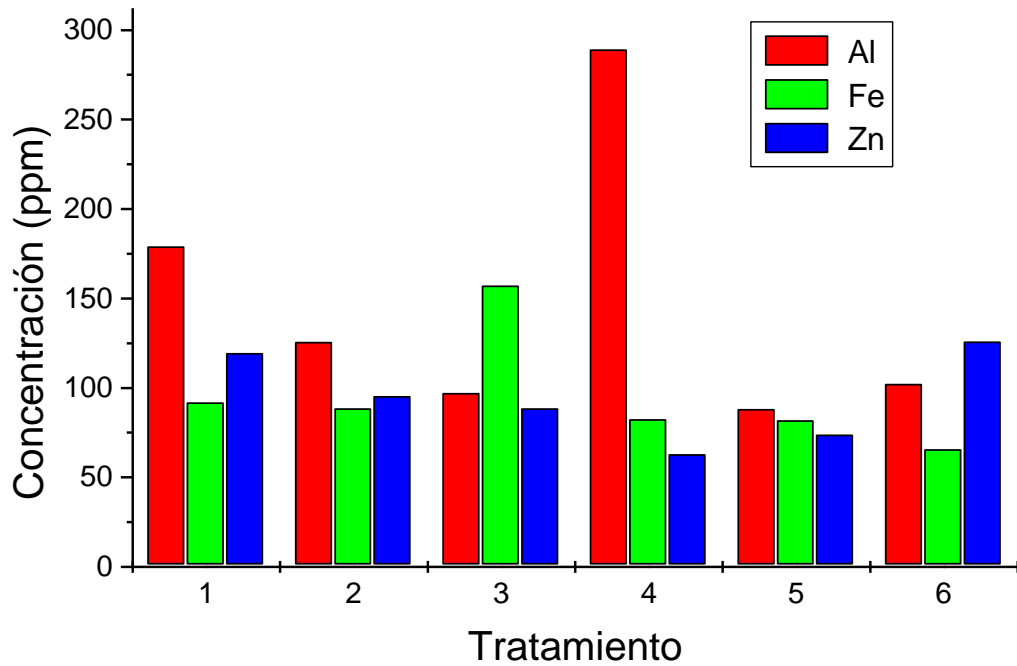


Figura 5. Concentración vs tratamientos de elementos mayoritarios en hojas de Al, Fe y Zn > 50 ppm.

En la Figura 5, el elemento que mas resalta es principalmente al Al, teniendo como resultado concentraciones mayores en T4 (biosólido). En cuanto al Fe y Zn se encuentran concentraciones muy parejas en los tratamientos por debajo de 150 ppm.

VII.- Conclusiones

1.-En general para los metales pesados analizados en los tres tejidos, no se detectó un aumento significativo en su concentración debido al abonado con biosólidos.

2.- En los elementos aluminio, arsénico, cobre, cromo, fierro, mercurio y zinc, no existe significación entre tratamientos en almendra; lo cual nos indica, que al margen del tipo de tratamiento el elemento se comporta igual. El plomo se acumuló más en la almendra.

3.- En los elementos aluminio, arsénico, cobre, fierro, mercurio y zinc las hojas acumulan una mayor concentración; el cromo y níquel se concentran mayormente en el ruzno llevando a cabo funciones de filtros, impidiendo la entrada de contaminantes a la almendra, sin detrimento de la captación de nutrientes.

4.- Cabe mencionar que aunque se analizaron las concentraciones del calcio y el fósforo, no se hizo su análisis de resultados ya que además de ser un suelo calcáreo, es decir contiene calcio, aunado a que el fertilizante comercial usado en este trabajo contiene fósforo, estos actúan como macronutrientes.

5.- Por la tendencia de los resultados obtenidos y el tipo de datos (concentraciones muy pequeñas) se sugiere continuar con el trabajo al menos por dos años mas, aumentando el número de muestras por tratamiento para mejorar las determinaciones analíticas.

Glosario

Abono. Aplicación de fertilizante orgánico, para nutrimento de la planta y mejorador e las características del suelo.

Absorción. Introducción o disminución de una sustancia dentro de otra.

Adsorción. Adhesión, provocada por atracciones eléctricas o químicas, de las moléculas de un gas, un líquido o una sustancia disuelta en una superficie.

Aerobio. Proceso bioquímico o condición ambiental que sucede en presencia de oxígeno. Organismo que necesita oxígeno para vivir.

Aclareo de árboles. Entresacar para dar lugar a la parcela.

Agua residual. Las que proceden de viviendas, poblaciones o zonas industriales y arrastran suciedad y líquidos cloacales.

Anaerobio. Proceso bioquímico o condición ambiental que sucede en ausencia de oxígeno.

Biosólidos. Proviene del método más común que se utiliza para su obtención, el cual consiste en el procesamiento biológico (digestión aeróbica y anaeróbica) de los sólidos de las aguas negras o residuales; es una fuente de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y micro-nutrientes.

Caracterización. Dar forma de, conocer lo que tiene o representa.

Composteo. Es un proceso controlado y acelerado de descomposición de las partes orgánicas de los residuos y que puede ser tanto aerobio como anaerobio.

Disposición. Lugar a donde se lleva el residuo, o lo que ya no se reúsa.

g. gramo.

Hongos sanitizadores. Aquellos que sirven para limpiar o sanitizar la rizosfera.

Lodo residual. Es el residuo de la planta antes de llegar a hacer biosólido.

Metales pesados. Elementos metálicos que tienen la densidad molecular más alta de la clasificación periódica.

Nogal pecanero. Es un árbol que puede superar los 30 metros de altura, que inicia su producción de nuez entre los 6 y 10 años de edad y continúa produciendo comercialmente durante más de 30 años.

ppm. Parte por millón (mg/kg).

ppb. Parte por billón. Unidad en la que se da a conocer la concentración de elementos traza.

Quelación o quelatación. Atracción y adhesión de moléculas.

Riego. El nogal necesita un mínimo de agua para poder vegetar y dar producción, en producción intensa se necesita aproximadamente de 40-45 m³/ha/día.

µg. microgramo.

Tratamiento primario. Proceso mecánico que utiliza cribas para separar los desechos de mayor tamaño de las aguas negras, pasando a un tanque de sedimentación primaria, luego a un digestor, para ser utilizados en tierras de cultivos como fertilizante o relleno sanitario. Elimina alrededor del 60% de los sólidos en suspensión y el 65% de los materiales orgánicos.

Tratamiento secundario. Proceso biológico que utiliza bacterias aerobias como un primer paso, hasta remover cerca de 90% de los desechos sólidos y lodos que contienen las aguas negras, proceso biodegradable que requieren oxígeno.

Tratamiento terciario. Utiliza el micro filtración, coagulación y precipitación, la adsorción por carbón activado, el intercambio iónico, la cloración, etc.

Traslocación. Que van del suelo a la raíz, posteriormente a algún órgano (tejido) de la planta pasando por medio del xilema (savia)

VIII.- Bibliografía citada:

Angélica Sadzawka R., Renato Grez Z., María Adriana Carrasco R. y María de la Luz Mora G., 2004, Métodos de análisis de tejidos vegetales, CNA.

Binder, D.L.; A. Doberman; 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.

Briggs, P.H., and Meier, A.L., 1999. The determination of forty-two elements in geological materials by inductively coupled plasma-mass spectrometry: U.S. Geological Survey Open-File Report 99-166, 15p.

Cardoso, L. 1998. Aplicación de lodo residual en agricultura. Curso teórico-Práctico de tratamiento de lodos residuales. C. XIII. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). México.

J. M. Barea, Las micorrizas arbusculares componente clave en la productividad y estabilidad de agrosistemas, Departamento de Microbiología del suelo y sistemas simbióticos, CSIC, Prof. Alboreda 1 18008, Granada España, s / año.

G. Kidder y L. Espinoza, Fertilidad del Suelo y el Uso de Fertilizantes, Universidad de Florida / IFAS EXTENSION, s / año.

Lina Cardoso Viguera, Esperanza Ramírez Camperos, Violeta Escalante Estrada, Gabriela Moeller Chávez, ABES, Manejo de Lodos Residuales en México, XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, s / año.

M^a Eugenia Gómez Basten, 2000, Frutos de Naturaleza seca: Nueces, Mercados Agropecuarios, Edición No. 97 Agosto.

Hageman, P.L., and Welsch, E., 1996. Arsenic, antimony, and selenium by flow injection or continuous flow-hydride generation-atomic absorption spectrometry: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-525, p. 24-30.

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales). 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Lodos y biosólidos, Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. México.

Tarango, S.H. 1992. Fertilización del Nogal Nutrición y Productividad. Departamento Editorial de la UACH, Colección Agropecuaria

Tarango, S.H., Bertha C. Macias L., Alejandro Alarcón, Jesús Pérez M. 2004. Micorrizas en Nogal pecadero y pistachero, Inifap, folleto técnico No. 16.

Uribe, H.R.; S. Chávez y M^a Espino. 2000. Los biosólidos como mejorador de suelos agrícolas y avances de su evaluación en la región de Delicias. Folleto para Productores No. 7. CEDEL-INIFAP. México

Uribe, H.R. 2002. Arreglo topológico y uso de biosólidos como fertilizante en algodón y maíz forrajero. Informe de Investigación. CEDEL-INIFAP.

Uribe, H.R.; G. Orozco, N. Chávez y M^a Espino. 2003. Fertilización del maíz forrajero con biosólidos. Folleto para Productores No. 13. CEDEL-INIFAP. México

Uribe, H.R.; G. Orozco, N. Chávez y M^a Espino. 2004. Uso de biosólidos para incrementar la producción de alfalfa. Campo Experimental Delicias-INIFAP, México

USEPA. 1994. A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. EPA/832-R-93-003. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Wastewater Management Washington, D. C.

USEPA. 1995. A biosolids risk assessment for the EPA part 503 rule. EPA/832-B-93-005. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Wastewater Mangement. Washington, D. C.

Bibliografía no citada:

Banerjee, M. D.L. Burton; S. Depoe. 1997. Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics. Agriculture Ecosystems and Environment. 66:241-249

California State Water Resources Control Board, General Waste Discharge Requirements for the Discharge of Biosolids to Land for Use as a Soil Amendments in Agricultural, Silvicultural, horticultural, and Land Reclamation Activities, s / año.

Carlos López Encina, Araceli Bacelo Muñoz, Sobre Micorrizas, CSIC, Estación Experimental La Mayora, s / año.

Comisión Nacional del Agua. 2001. Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de agua residual. www.cna.gob.mx.

Daisy Isea, Luís Vargas, Norelis Bello, José Gregorio Delgado, ABES, Lixiviación de Metales no nutrientes en suelo sometidos a riego con agua residuales tratadas, XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, s / año.

D. Sullivan, 1998, Fertilizing with Biosolid, PNW 508.

Lorenzo Chicon, Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos, Universidad de Málaga, s / año.

Martínez Gloria C., Piccoli Analia B., Ortiz Maria L., Schroeder Maria A. Departamento Física-Química, Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE, s / año.

O'Leary, R.M., Hageman, P.L., and Crock, J.G. 1996. Mercury in water, geologic, and plant materials by continuous flow-cold vapor –atomic absorption spectrometry, in Arbogast, B.F., ed., analytical methods manual for the Mineral Resource Surveys Program, U.S. Geological Survey: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-525, p. 42-50.

Pérez, A.V. 2004. Dinámica de Nitratos en suelo hoja y caquis en nogal. Memorias del 8º. Día del Nogalero Delicias, Chih., Méx.