



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**Características fisicoquímicas de efluentes líquidos
de una planta piloto de tratamiento de residuos
sólidos orgánicos para uso forestal.**

T E S I S

Que para obtener el título de Biólogo

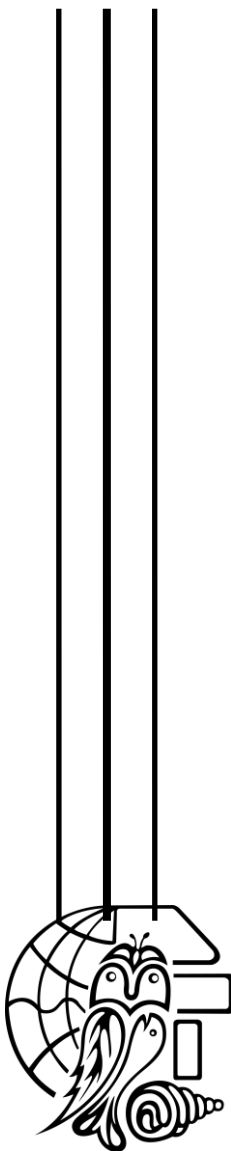
P R E S E N T A

CERÓN FORTIS MORY JULIO

DIRECTOR DE TESIS:

M. en C. Ezequiel Carlos Rojas Zenteno

Los Reyes Iztacala, 2015





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Gracias a CONACYT por darme la oportunidad de participar en el Proyecto 174710 FORDECyT “Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales” y por la beca otorgada durante este periodo, sin duda, una experiencia inolvidable.

Al M. en C. E. Carlos Rojas Zenteno y a la Dra. Silvia Romero Rangel por depositar en mí su confianza, por sus valiosos consejos para mí como tesista y como ser humano, por apoyarme incondicionalmente en los momentos más difíciles que viví y por hacer del Laboratorio de Árboles y Arbustos una extensión de nuestros hogares.

A mis sinodales; el M. en C. E. Carlos Rojas Zenteno, la Dra. Silvia Romero Rangel, la M. en C. Liliana Elizabeth Rubio Licona, al Dr. Ignacio Peñalosa Castro y al Dr. Daniel Muñoz Iniestra por aceptar formar parte del jurado y acompañarme en este reto que nos tocó vivir.

A la M. en I. Diana Casas Gutiérrez y a la M. en I. Sandra Carlos Pinedo, por toda su amabilidad, atención, consejos y apoyo brindado.

A mi familia Fortis Serrato y a la familia Gómez Rodríguez quienes me adoptan con tanto cobijo, gracias por dejar a Maira compartir su vida conmigo, aprendiendo y cuidando uno de otro en la vida.

A todos los que formamos parte del Laboratorio de Árboles y Arbustos que son mis amigos algunos que no veo con frecuencia y a quienes están más cerca, porque sin el aliento que me brindaron habría sido más difícil vivir esta época de mi vida, “somos una familia” dicen el Profe y la Doctora, yo creo en ellos y en ustedes.

A la UNAM, por cambiar mi vida y encaminarla hacia este camino del que no me pienso apartar. ¡Orgullo Azul y Oro!

Dedicare

La luz se hizo de mi estrella más cercana, la
que alumbra, que parece inmortal, que
admira la dualidad de estos centelleos, y,
¿reprime? No como tal, y sí, esculpes así,
entre tempestad.

La misión, la escuché desde la mar al
desierto, y solo la vislumbré aquí, entre
ustedes, con plumas y pelaje, perdona a
este joven aferrado que no encontró pies al
deseo de tu paisaje.

Tu llanto, retiembla en mis huesos, la lucha,
tu sacrificio, a veces tus sueños, a cambio
solo de mi amor, mamá eres tú la estrella,
mi creador.

Un brazo endeble en el calor de tu sostén,
día a día, ilustra, cual faro en la eternidad,
ma' noria, perpetuo es mi deseo de andar
nuestra marcha a la revolución de primaria.

La segunda línea de tu pasmosa herencia,
así corre en mi sangre, así andaré siempre,
con Serrato bajo mi piel, veo sí, escucho sí,
y de mí, surge el aspaviento de amor por ti.

No trueques tú divertido yo por un rictus,
tú que despiertas la risa hasta el llanto,
héroe de infancia, no un cuadro albino,
sino un amigo en plenitud.

Mil beligerancias, mil reencuentros mi
señor Nájera, pero dispense, ¿Cómo supo
lo de estos pies? El cielo se abrió y los
guardo cuidado, olvidó hostilidad y elevó a
siete el anuario.

¿Por qué la enviaste? En el lecho de un
hospital se acerca y me ahoga con ternura,
en sueños se escuchaba el réquiem que
incesantemente llegó apaciguando mi piel.

¿Has escuchado el viento en tus oídos? Ese
viento que del latir descende, se acomoda
entre lirios y suspira en el olfato, dichosa tú
que lo provocas al menor tacto.

Hallar la palabra que te describe, una tarea
sin fin, podría ser milagro, ideas en vaivén,
¡no alcanza talento! Ya veo, ya entiendo,
maravillosa te dicen, pues es tu naturaleza.

Seres pasmosos de bondad, no hay ser vivo
que repita la anécdota ¿no crees compadre?
Seres de luz que nos adoptan y estremecen
hasta el tuétano.

Por ti y mi comadre, creadores de una linda
sabiduría con virtudes en potencial. Es así
nuestra familia de la que hablan nuestras
almas, nuestra religión.

Creamos muchos equipos con virtud, a
veces sin talento, tu presencia en todos,
excelso torrente de existencia que
impregnas, amigo, forma parte del equipo
de esta vida.

La inmortalidad del ser, oraciones que
carecen de carácter efímero y esta
perspectiva sin meta dentro del ajedrez, así,
así sigo en el titubeo ante tu intelecto, ¡Que
no cesen las charlas, porque te admiro!

Índice

1. Introducción	- 1 -
2. Marco Teórico	- 5 -
2.1. Residuos Sólidos	- 5 -
2.2. Gestión de Residuos Sólidos.....	- 6 -
2.3. Gestión de Residuos Sólidos en México	- 6 -
2.4. Residuos Sólidos Urbanos.....	- 8 -
2.5. Residuos Sólidos Orgánicos.....	- 9 -
2.6. Contaminantes de Plantas de Tratamiento	- 10 -
2.7. Metales Pesados	- 10 -
2.8. Microorganismos Patógenos	- 11 -
2.9. Aprovechamiento Ecológico	- 12 -
2.10. Agroforestería.....	- 12 -
2.11. Nutrición Foliar	- 14 -
2.12. Absorción Radicular	- 14 -
2.13. Nutrientes	- 16 -
2.14. Fertilizantes.....	- 17 -
2.15. Fertilizantes Químicos	- 18 -
2.16. Abonos Orgánicos.....	- 19 -
2.17. Materia Orgánica.....	- 19 -
2.18. pH.....	- 21 -
2.19. Bosques Templados.....	- 22 -
2.20. Deforestación	- 23 -
3. Descripción Morfológica.....	- 25 -
3.1. Descripción morfológica de <i>Pinus maximartinezii</i>	- 25 -
3.2. Descripción morfológica de <i>Quercus crassipes</i>	- 28 -
4. Antecedentes.....	- 31 -
5. Objetivos	- 34 -

5.1. Objetivo General	- 34 -
5.2. Objetivos Particulares	- 34 -
6. Material y Metodología	- 35 -
6.1. Obtención de Lodos	- 35 -
6.2. Análisis de Calidad del Lodo	- 35 -
6.3. Caracterización de Nutrientes y Materia Orgánica	- 35 -
6.4. Obtención de <i>Q. crassipes</i> y <i>P. maximartinezii</i>	- 36 -
6.5. Descripción del crecimiento de <i>Q. crassipes</i> y <i>P. maximartinezii</i>	- 37 -
7. Resultados y Discusión	- 39 -
7.1. Metales Pesados	- 39 -
7.2. Coliformes Fecales	- 40 -
7.3. Nutrientes	- 41 -
7.4. Materia Orgánica	- 43 -
7.5. pH	- 45 -
7.6. Evaluación del crecimiento de <i>P. maximartinezii</i>	- 46 -
7.7. Evaluación del crecimiento de <i>Q. crassipes</i>	- 49 -
8. Conclusiones	- 53 -
9. Bibliografía	- 54 -
10. Bibliografía En Línea	- 59 -

1. Introducción

La situación que concierne a los residuos sólidos urbanos (RSU) es similar a lo que ocurre con las descargas de aguas residuales, en este sentido se identifica que el aumento de la población ha influido directamente proporcional a la producción de residuos, aumentando los problemas medioambientales y de salud tanto en las poblaciones humanas como en los ecosistemas de la tierra. Una proyección realizada por la CONAPO calcula que para el año 2020 se estarán produciendo 128,000 toneladas diarias de RSU, comparadas con las 96,900 toneladas diarias que se producían en el año 2005.

Aunado a lo anterior, la composición de los residuos también ha cambiado significativamente en las últimas décadas, en la década de los 50' el porcentaje de residuos orgánicos en la basura era del 65 al 70%; mientras que para el año 2005 su proporción ya oscilaba entre un 50 y un 55% lo que genera también una dificultad en el manejo de los residuos que no son biodegradables y que en muchas ocasiones su gestión termina produciendo decisiones desesperadas que en un futuro traerán consecuencias irreversibles y que en la actualidad ya se están manifestando constantemente (INECOL, 2014).

Desde el año 2002 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) puso en vigor la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 de protección al medio ambiente, donde se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos. Esta norma también promueve la reutilización de los efluentes que se generan en el tratamiento de residuos sólidos urbanos, esto desde un enfoque aprovechable y favorable hacia ambiente.

En lo que concierne a la producción del sector agrícola, la contaminación del ambiente se debe (entre otras cosas) al uso indiscriminado de fertilizantes, por lo que se ha vuelto necesaria la búsqueda de alternativas de fertilización que sean económica, social y ecológicamente aceptables (Wolf y Snyder, 2003).

Una alternativa ante estas situaciones y en afinidad con los establecimientos de la NOM-004; es la utilización de recursos como los efluentes que resultan de plantas de tratamiento de residuos orgánicos y que por su contenido nutrimental, de materia orgánica y de microorganismos, se pueden considerar como fertilizantes biológicos (Compagnoni y Potzolu, 2001).

La fertilización foliar se ha convertido en una práctica común entre los agricultores debido a que esta estrategia corrige las deficiencias nutrimentales de los vegetales, obteniéndose de ese modo una mejora considerablemente satisfactoria en el incremento de la producción y la calidad de los productos. Si bien, la fertilización foliar no puede sustituir a la fertilización tradicional, si es bien conocida su alta contribución a la mejora de los cultivos en los que se lleva cabo, esto debido a que la fertilización edáfica depende de varios factores que afectan tanto al suelo como al medio que rodea al cultivo. De este modo la fertilización foliar se convierte en una técnica eficiente y a veces hasta necesaria para la producción de cultivos (Trinidad y Aguilar, 1999).

Sin embargo el uso de efluentes de plantas de tratamiento también traen consigo dificultades y consecuencias, debido a que los efluentes de las planta de tratamiento son muy variables en términos de concentraciones nutrimentales esto debido a los cambios en la actividad microbiológica y química de los residuos, en consecuencia las afectaciones son, entre otros factores, al aporte de nutrientes esenciales a las que son sometidas las plantas fertilizadas con estos residuos, lo que deriva en resultados muy variables en estas prácticas. De este modo es necesario establecer una dosificación idónea que satisfaga los requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos, tomando en cuenta la relación entre los minerales que se hacen presentes en los suelos donde se lleva a cabo el cultivo de vegetales (Quinteiro *et al.*, 1998).

Para este trabajo se utilizaron dos especies forestales *Pinus maximartinezii* y *Quercus crassipes*, la primera de estas especies hoy en día se encuentra en peligro de extinción y pertenece a la familia Pinaceae fue descrita por Rzedowski (1964) ubicándola en el Cerro de Piñones de la Sierra de Morones, al W de Pueblo Viejo,

municipio de Juchipila, al sur del estado de Zacatecas y por más de cuatro décadas se consideró que su distribución estaba restringida a esa localidad (González *et al.*, 2011).

En el año 2011 se hizo un hallazgo al sur del estado de Durango, cerca del poblado La Muralla, perteneciente a la comunidad indígena Santa María de Ocotán y Xoconoxtle, municipio de El Mezquital, este descubrimiento representó la segunda localidad en la que se puede encontrar a esta especie, sin embargo no modificó el estatus en peligro de extinción que ya ha manifestado la NOM-059-SEMARNAT del 2010, no obstante, esta especie representa una excelente alternativa para reforestar áreas erosionadas en sitios donde los vientos desecantes no entran directamente, esto gracias a su adaptabilidad en suelos someros y condiciones de escasa humedad (González *et al.*, 2011).

Por otro lado *Quercus crassipes* es una especie que es conocida popularmente con los nombres de encino, encino colorado, encino chilillo, encino oreja de ratón y encino laurel, se le ha dado uso para prácticas de ebanistería fina, formando parte de piezas para cajas de piano, diversos tipos de muebles, duela para pisos, chapa fina, herramientas, juguetes y como combustible al emplearse su madera como leña y carbón. Este encino es endémico de México y su estado de conservación está catalogado como amenazado, esto gracias a que su hábitat ha sido constantemente modificado por la deforestación y los cultivos (Arizaga, *et al.*, 2009; López, 2013).

El encino colorado se distribuye en altitudes desde los 1,900 a los 3,500 metros sobre el nivel del mar, cuenta con una amplia distribución en el territorio del país con registros en los estados de Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Colima, Michoacán, Estado de México, Distrito Federal, Morelos, Tlaxcala y Puebla. Esta especie se caracteriza también porque se puede encontrar en diferentes tipos de vegetación sobre todo en bosques de encino, pino-encino, cedro-encino, bosque mesófilo de montaña, matorral xerófilo, en sitios de transición de pastizal a bosque mixto (López, 2013).

Este trabajo es parte del proyecto "Generación de un sistema piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM)" que realiza la Facultad de Química de la UNAM. Dicha planta piloto que se ubica en la CUSI Almaraz de la FES Iztacala en Cuautitlán Izcalli, Estado de México, estará en funcionamiento en febrero de este año (2015).

2. Marco Teórico

2.1. Residuos Sólidos

Desde la sociedad primitiva, las poblaciones humanas y las de los animales han utilizado los recursos de los que nos provee la naturaleza para subsistir en el planeta, paralelamente a ello se han generado residuos, sin embargo, la formación de residuos en el pasado no representaba un problema como lo representa hoy en día, ya que las poblaciones eran muy pequeñas y la cantidad de terreno disponible para la asimilación de residuos era suficientemente vasto. Los problemas adjuntos a la producción de residuos pudieron ser visibles desde los primeros momentos en que los seres humanos comenzaron a congregarse en tribus, aldeas y comunidades, y la acumulación de residuos llegó a convertirse en un peligro para la vida.

La deficiencia o ausencia de una gestión pertinente de los residuos en las poblaciones, ha generado diversos problemas que se han presentado a lo largo de la historia de la humanidad, un ejemplo de los desastres que puede originar una mala o nula gestión de los residuos sólidos, es la ocurrida durante el S. XIV en la que lamentablemente alrededor de la mitad de los pobladores del continente europeo perdieron la vida, este desastre es conocido comúnmente con el nombre de la peste negra, esta catástrofe ocurrió luego de que se acumulara una gran cantidad de residuos sólidos en las calles, terrenos, pavimentos, carreteras, etc., que favorecieron el aumento poblacional de ratas con pulgas portadoras de la plaga bubónica.

La falta de algún plan para la gestión de los residuos sólidos fue lo que desencadenó la epidemia. Sin embargo es hasta el S. XIX cuando surgieron medidas de control para la salud pública y éstas fueron consideradas como vitales por los funcionarios públicos, quienes se daban cuenta que los residuos debían ser gestionados de una forma sanitaria para evitar que vectores de contagio (roedores, artrópodos, etc.)

aumentaran su población y salieran de control y que como consecuencia surgieran posibles epidemias que, en consecuencia, pongan en peligro a los humanos (Tchobanoglous, *et al.*, 1994).

2.2. Gestión de Residuos Sólidos

Desde sucesos como el citado anteriormente ha surgido la preocupación dentro de la población por tener una adecuada y eficiente gestión de Residuos Sólidos, desde entonces han surgido una serie de normatividades y regulaciones para su gestión. Tchobanoglous y colaboradores definieron en 1994 la gestión de residuos sólidos de la siguiente manera:

“Disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética, y de otras consideraciones ambientales y que también responde a las expectativas públicas”

2.3. Gestión de Residuos Sólidos en México

En México la Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos surge durante la presidencia de Fox Quesada, más concretamente el 8 de Octubre del año 2003, siendo fundamentada por el Artículo 3 de la constitución política de los estados unidos mexicanos y la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente, anteriormente era ésta última la que se encargaba de la gestión de residuos en el país, sin embargo se consideró que para la política ambiental en México era necesario la aparición de una ley específica que se encargara de la gestión de residuos, en ella quedan descritas las disposiciones generales, coordinación, clasificación de residuos, manejo integral de los residuos, instrumentos de la política de prevención y gestión integral de residuos así como medidas de control y seguridad, infracciones y sanciones.

Para la gestión de residuos en México la LGPGIR define a los ya mencionados en su título primero, capítulo único, artículo 5, Fracción XXIV, en la manera que a continuación se expone:

“XXIX. Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven;”

Es por estos medios que se vuelve indispensable la clasificación de los diferentes tipos de residuos que se generan en el país para que de este modo la Ley pueda ser aplicada de acuerdo a las disposiciones tal y como se menciona en el Artículo uno expuesto a continuación;

“Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios por estos residuos y llevar a cabo su remediación...”

La clasificación de los residuos permite y facilita a la ley dar paso a varios aspectos que son expuestos en el Artículo 15, estos son efectuados con el fin de poder tomar medidas y decisiones en relación al tipo de residuo y el riesgo que puedan representar de acuerdo a su composición, subclasificación que realiza la LGPGIR (2014) con el fin de poder cubrir cuatro objetivos;

Primer objetivo; Dar a conocer a los generadores o a quienes disponen finalmente de los residuos, información sobre las propiedades físicas y características físicas, químicas y biológicas que permitan conocer con anticipación el comportamiento que los residuos puedan manifestar toda vez que entran en contacto con el ambiente.

Segundo objetivo; Dar a conocer las características físicas, químicas y biológicas con el fin de anticipar el impacto que se pueda generar en el ambiente, este objetivo se diferencia del anterior por hacer hincapié en los efectos que se pueden revelar directamente hacia la salud, a la integridad física de los habitantes y hacia sus bienes materiales, esto se lleva a cabo y necesariamente en función del volumen que ocupan, la forma de manejo requerida y los efectos que se pueden producir dada su exposición a distintos medios.

Tercer y cuarto objetivos; Estos objetivos se pueden conjugar dando lugar al reconocimiento de las fuentes generadoras de los distintos tipos de residuos que se puedan generar en diferentes organizaciones biológicas así como identificar los distintos materiales que constituyen al residuo en cuestión, esto con el fin de encaminar acciones que puedan mitigar el potencial impacto que de ellos se puedan derivar.

2.4. Residuos Sólidos Urbanos

Dentro de esta clasificación (RSU) se engloban todos los residuos que surgen a partir de las actividades domésticas, y que tienen como resultado envases de los productos consumidos así como residuos de los mismos productos, además también se incluyen a los residuos que provienen de actividades dentro de establecimientos, vía pública y lugares de área común, la clasificación se efectúa siempre que los residuos no entren dentro de las características de otra definición de residuos.

De acuerdo a la LGPGIR, en el artículo 18 se menciona que los residuos sólidos urbanos pueden subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con el objetivo de hacer más simple su separación y someter los residuos a los ordenamientos legales que sean aplicables. La manera más simple de realizar esta subclasificación es separando los residuos sólidos inorgánicos de los residuos sólidos orgánicos tomando en cuenta que estos últimos son todos aquellos que sus componentes provienen de organismos vegetales y/o animales (LGPGIR, 2014).

2.5. Residuos Sólidos Orgánicos

El manejo integral de residuos sólidos, se enfoca con mayor énfasis en la reducción de residuos que se realiza mediante un enfoque jerárquico, en el cual, primeramente y como prioridad, se reducen la cantidad de residuos que se producen, en segunda instancia se promueven las actividades de reciclaje y compostaje, tanto como sea posible y las condiciones subyacentes lo permitan, en tercer lugar se disponen los residuos a la incineración, y en cuarto y último lugar se disponen los residuos en vertederos, esto cuando las anteriores opciones están imposibilitadas a realizarse, mediante esta forma de manejo es que operan las diversas gestiones que implementan los gobiernos alrededor del mundo ya que mediante este enfoque jerárquico se ha conseguido una buena respuesta en cuanto a las tasas de contaminación en el medio ambiente, por ello, es que se buscan todas las medidas posibles para aminorar los efectos adversos, productos del consumo humano (Talancón, 2013).

Los productos obtenidos en la práctica de la degradación aeróbica de residuos sólidos orgánicos son denominados como composta, esta práctica se realiza bajo condiciones controladas que recrean y aceleran las condiciones naturales de generación de humus, las plantas de tratamiento de residuos sólidos orgánicos aprovechan el proceso de descomposición de la materia para producir otros subproductos como el gas metano junto a otros productos que comúnmente son desechados en forma de efluentes residuales (CONAGUA, 2013).

Es importante señalar que los efluentes obtenidos de las plantas de tratamiento son un conjunto de desechos producidos por microorganismos y materia orgánica que se encuentran en constante interacción y que al ser un sistema vivo sus concentraciones nutritivas varían indefinidamente, sin embargo, son efluentes que por las mismas condiciones que lo forman y lo integran, tienen una gran riqueza nutritiva, la cual, como ya se ha mencionado, es reutilizada en muchos casos como abonos orgánicos (Rodríguez, *et al.*, 2006).

2.6. Contaminantes de Plantas de Tratamiento

Los lodos residuales generados en el proceso de tratamiento de residuos sólidos, pueden ser una fuente de diseminación de patógenos y sustancias tóxicas, lo anterior como resultado de un tratamiento inadecuado o una mala estabilización de las plantas tratadoras. Se han identificado principalmente dos factores con alto potencial contaminante para el ambiente y para la salud de los humanos, en primer lugar se pueden citar a los metales pesados y en segundo lugar a los microorganismos patógenos por ello es importante tener un control sobre estos parámetros con el fin de tener una disposición final adecuada (Cordero, 2010; NOM-004-SEMARNAT, 2002).

2.7. Metales Pesados

Los metales, como el Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Plomo (Pb), Manganeseo (Mn), Mercurio (Hg), Níquel (Ni) y Zinc (Zn) son componentes importantes de la mayoría de las aguas y los lodos. Muchos de estos metales también se clasifican como contaminantes prioritarios, sin embargo, la mayoría de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida, en contra parte, la ausencia de las cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de una gran variedad de organismos. Por otro lado, la presencia de cualquiera de estos metales en cantidades excesivas puede ser tóxico, por lo que con frecuencia es conveniente medir y controlar las concentraciones de estas sustancias en lodos residuales (Cordero, 2010).

Para estos fines la SEMARNAT mediante la NOM-004, ha establecido los límites permisibles de metales pesados presentes en lodos residuales para su disposición final en lo que concierne a diferentes prácticas, lo anterior de acuerdo a la concentración de contaminantes presentes en biosólidos, ya que la contaminación por metales pesados en estos residuos con los que se pretenda hacer uso sobre suelos, deben controlarse para evitar la contaminación y la bioacumulación (NOM-004-SEMARNAT, 2002).

2.8. Microorganismos Patógenos

En los procesos que se llevan a cabo en plantas de tratamiento, se ha demostrado que los patógenos que son removidos de los residuos, se concentran en su mayoría en los lodos residuales, por lo que los lodos deben ser estabilizados hasta lograr una reducción razonable en la densidad de patógenos hasta considerarlo como un producto con un riesgo mínimo para la salud humana y de mínima contaminación para el medio ambiente al aplicarse en suelos (Metcalf *et al.*, 2003).

Los principales grupos de organismos patógenos y parásitos contenidos en lodos residuales han sido identificados por diferentes autores, un ejemplo de esto es lo expuesto por Flores en el 2001, el cual agrupo a los patógenos en bacterias que abarcan a especies como *Salmonella typhi*, *S. paratyphi*, *Shigella* sp., *Vibrio cholerae* y *Escherichia coli*, otro grupo importante es el de los virus con patógenos que causan diversas enfermedades como hepatitis, poliomelitis, gastroenteritis aguda y crónica, meningitis, enteritis así como diferentes tipos de infecciones respiratorias, por otro lado se pueden mencionar causantes de enfermedades por protozoarios como las especies *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia*. Por último otros agentes infecciosos son los del grupo de helmintos como *Taenia saginata*, *Ascaris lumbricoides*, *Tricheuris trichiuria* y *Toxocara spp.* Todos los citados son causantes de diferentes patologías de gravedad como el caso de la cisticercosis y la toxoplasmosis.

Al igual que en el caso de los metales pesados, la SEMARNAT ha puesto a disposición los límites permisibles de agentes infecciosos presentes en lodos residuales a través de la NOM-004, en donde se establecen los parámetros que se deben cumplir para los patógenos en consideración, con el fin de realizar una clasificación de lodos para su aplicación final en agricultura, actividades forestales o riego con contacto humano, lo anterior, en acuerdo a las concentraciones alcanzadas por los efluentes, tanto líquidos como sólidos, que resultan al final del proceso de tratamiento de residuos sólidos orgánicos.

2.9. Aprovechamiento Ecológico

En la ecología de la naturaleza nada se desperdicia, los residuos no existen ya que cada uno los componentes juegan un papel importante en el intercambio de materia y energía, de este modo, todo lo que sale de la tierra vuelve a ella en forma de excrementos, hojas, cadáveres, etc., luego de ello un sinnúmero de descomponedores y carroñeros (buitres, ratas, microorganismos, anélidos, etc.) se encargan de cerrar el ciclo manteniendo de esta forma la fertilidad de la tierra. Es mediante estas complejas estructuras ecológicas que la naturaleza ha mantenido viva a la biosfera, dando lugar a millones de años de evolución biológica con su consecuente resultado en materia de riqueza y abundancia de diversidad ecosistémica (Audesirk *et al.*, 2008)

Es menester, que en estos ciclos naturales la humanidad encuentre un ejemplo a seguir, en este sentido, no todo el mundo ha estado exento ya que la sabiduría secular a tratado de mantener un equilibrio con los recursos que la naturaleza provee a todos los seres vivos, un objetivo claro de esto es tratar de mantener la fertilidad del suelo devolviendo de diversas maneras la materia orgánica a la tierra durante las prácticas agrícola, mediante el uso de abonos orgánicos con estiércol, rotación de cultivos con leguminosas y abonos siderales, barbecho, ganadería extensiva, huesos molidos, agroforestería, etc. (Del Val, *et al.*, 1993).

2.10. Agroforestería

La agroforestería ha surgido luego de una serie de problemáticas como el aumento de la población, la pobreza y el deterioro ambiental, si bien no se sabe con exactitud el periodo histórico donde ya se conocían prácticas agroforestales, si se conoce que actualmente personas alrededor del mundo se han visto en la necesidad de implementar prácticas como ésta para poder sobrevivir.

Además de las restricciones impuestas por su propia pobreza y ambientes políticos frecuentemente desfavorables, muchos agricultores pobres carecen de acceso a

los mercados y a los insumos, así como al crédito y a las tecnologías apropiadas para sus condiciones ambientales o condiciones de extensión de fincas, en este rubro es donde se ve la mayor tragedia ya que a medida que los agricultores luchan por sacar de sus parcelas algo para poder sobrevivir, agotan los nutrientes de la tierra, dejándola inhabilitada. Este fenómeno se ve incrementado por otro ya que mientras la riqueza de las tierras se va terminando los agrónomos buscan la manera de suplementar las perdidas lo que ha llevado a la deforestación paulatina de bosques (Krishnamurthy *et al.*, 1999).

La agroforestería es una aproximación interdisciplinaria a los sistemas de uso de la tierra y los factores que intervienen en ella, ya que implica tener conciencia de las interacciones y la retroalimentación entre el hombre y el ambiente, entre la demanda de recursos y su existencia en una determinada área para así lograr establecer un cultivo de árboles en combinación espacial o en una secuencia temporal con cultivos agrícolas y/o pasturas, cabe destacar que estas prácticas pueden realizarse en pequeñas fincas o en grandes terrenos, siendo entonces la presencia de árboles uno de los componentes de la producción en estos sistemas convirtiéndola en una característica esencial y distintiva ante cualquier otro tipo de prácticas denominadas autosustentables en donde los sistemas agroforestales también juegan un rol con la denominación (Krishnamurthy *et al.*, 1999).

En la naturaleza los organismos se desarrollan procesando la materia y transformándola en energía, los vegetales en este sentido producen energía mediante los tilacoides quienes corresponden a la unidad estructural de la fotosíntesis mediante la cual, la energía lumínica procedente del sol se transforma en energía química, para transportarse y almacenarse en las plantas, seguidamente a este fenómeno, el bióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera es fijado para formar materia sólida, finalmente en este proceso se produce oxígeno (O₂) en forma de subproducto (Parker, 2000). A continuación se describe este proceso con más detalle.

2.11. Nutrición Foliar

En el suelo se pueden encontrar todos los elementos necesarios para la nutrición, sin embargo, estos nutrientes pueden estar de una forma no disponible para la absorción radicular; tal es el caso frecuente del hierro y el fósforo cuando el suelo es alcalino. Ante tal situación se realizan fertilizaciones foliares como nutrición complementaria, la efectividad de este tipo de fertilización depende en gran medida de la cantidad absorbida de las sustancias a través de la superficie (siendo importante la composición química de las hojas) y de su traslado por los conductos floemáticos (con su adyacente gasto de energía metabólica) (Rodríguez, 1982).

Los nutrientes deben atravesar la cutícula, las paredes (primaria y secundaria) y la membrana plasmática hasta llegar al interior de la hoja. La cutícula está formada principalmente por pectinas, ceras y fibras celulósicas; en las que pasan las sustancias con la actuación de grupos hidrófilos (que dejan pasar iones y agua) y grupos lipofílicos (que dejan pasar sustancias no polares). Una vez atravesada la cutícula, las sustancias traspasan las paredes de la hoja a través de los ectodermos que son espacios con una densidad menor de micro fibrillas en las zonas de las paredes primarias y secundarias. Las paredes también poseen propiedades hidrofílicas y lipofílicas. Posteriormente las sustancias absorbidas deben franquear las membranas celulares por medio de una absorción activa (Rodríguez, 1982).

Mientras tanto a nivel radicular el agua (H_2O) es extraída de los sustratos, la composición de las moléculas que interfieren en este proceso incluyen la base primordial de los hidratos de carbono (C, H, O). Pero para la síntesis de otras sustancias básicas como las proteínas, fosfolípidos, clorofila, etc., necesitan de otros elementos básicos como el nitrógeno, fósforo, magnesio, etc., que las plantas extraen de su medio a través de sus raíces y eventualmente por vía foliar (Rodríguez, 1982).

2.12. Absorción Radicular

La absorción radicular es un fenómeno de vital importancia que ocurre en los vegetales, este proceso cumple con dos objetivos primordiales para las plantas, por un lado, mantener la turgencia de la parte aérea y por otro, el de posibilitar las actividades bioquímicas hasta un nivel que asegure la supervivencia, en consecuencia, las plantas deben reponerse continuamente del agua perdida mediante la transpiración, en esta tarea, las raíces realizan un trabajo descomunal en comparación a la absorción de agua que se realiza a nivel foliar. El agua entra en las raíces como respuesta a un gradiente de potencial hídrico en el xilema, establecido por la transpiración, en consecuencia, el agua entra con mayor velocidad a través de las regiones de la raíz que ofrecen menor resistencia, lo anterior, también es influido por diversos factores y por la especie que se trate (Azcón, *et al*, 2009).

El fenómeno anterior queda fundamentado por la teoría de la tensión-cohesión-transpiración del agua que a grandes rasgos se puede describir de la siguiente manera: cuando el agua se halla confinada en tubos con un diámetro estrecho y paredes humedecibles (como los vasos y traqueidas xilemáticas), al aplicar un tirón desde la parte superior la tensión se transmitirá a través de la columna de agua sin que se pierda el contacto con la pared del tubo (fuerzas de adhesión). Es decir, en el interior de tales tubos las columnas de agua se comportan como si todas las moléculas estuvieran conectadas y la tensión aplicada a cualquier parte de la columna se transmite a través de ella. Si se aplica tensión, presión negativa, a un extremo de la columna, el agua se moverá hacia la fuente de la tensión (Azcón, *et al*, 2009).

Además de esta función, el sistema radicular, cumple con otras funciones como lo es la mecánica de anclaje que mantiene la sujeción de la planta al suelo, además de funciones biológicas de respiración y crecimiento, tanto en longitud como en grosor, y por ramificación. Cuanto mejor cumpla el sistema radicular de un árbol todas sus funciones, el desarrollo del árbol en su conjunto será más armónico y equilibrado, la naturaleza de éste va a influir en el cumplimiento de esas funciones y marcadamente en

su crecimiento y desarrollo, esto como resultado del ambiente en el que se desarrolle el vegetal en cuestión (Velarde, 1998).

2.13. Nutrientes

La absorción radicular y foliar son entonces los fenómenos encargados de llevar elementos químicos (nutrientes) que los vegetales necesitan para su crecimiento normal, aunque se han identificado veinte nutrientes en la mayoría de las plantas, se ha determinado que solamente dieciséis son realmente necesarios para un adecuado y completo desarrollo de las plantas y se conocen como nutrientes esenciales; carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), cloro (Cl), boro (B), cobre (Cu), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn), los restantes son denominados comúnmente como no esenciales (respecto a la utilización fisiológica de la planta) entre ellos están el oro (Au), plata (Ag), yodo (I) y sílice (Si) (Parker, 2000).

De la lista de nutrientes citados pueden clasificarse a su vez de acuerdo a la cantidad absorbida por las plantas en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes son los más requeridos, midiéndose su cantidad respecto a las soluciones nutritivas, en gramos por litro (g/l), es decir medidos en su concentración, entre ellos se encuentran el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S) y magnesio (Mg). Mientras que los micronutrientes son los elementos absorbidos en menores proporciones; se miden en miligramos por litro (mg/l), o en partes por millón (ppm) que representan la misma concentración, entre los que destacan el cloro (Cl), boro (B), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y el hierro (Fe) (Rodríguez, 1982).

El aprovechamiento de nutrientes por parte de las plantas depende de una serie de variables que determinarán que el vegetal pueda o no disponer de los elementos químicos indispensables, en ese sentido la causa es en algunas ocasiones, la insolubilidad de nutrientes en el agua o la misma falta de agua, por otro lado el pH

también desempeña un papel fundamental, ya que en determinados pH, los nutrientes pueden formar compuestos insolubles o en su defecto pueden reducir su solubilidad. En otras ocasiones el metabolismo de las plantas puede interferir de manera negativa cuando carecen de sistemas metabólicos específicos que impidan el procesamiento de algunos compuestos (López, 2009).

2.14. Fertilizantes

En el desarrollo vegetal cuando la deficiencia de nutrientes en las plantas se manifiesta o cuando se quiere incrementar la producción de ciertos vegetales, la aplicación de fertilizantes puede incorporar nutrientes a las mismas para incrementar su fertilidad natural. Cuando se aplican los fertilizantes adecuados se obtiene como resultado, una mejora tanto en la calidad como en la cantidad de las cosechas. Podemos definir entonces a los fertilizantes como cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético, capaz de proporcionar a las plantas uno o más de los elementos químicos esenciales para su normal desarrollo (Salgado *et al.*, 2012).

Para que algún material que contiene elementos esenciales sea capaz de proporcionarlos a las plantas, y recibir el calificativo de “fertilizante”, se requiere que tales elementos se encuentren en una forma química asimilable o disponible siendo éstas las solubles en agua, aunque también lo son las solubles en soluciones alcalinas o ácidas, por otro lado también se les diferencia de acuerdo a su modo de acción en directos e indirectos un ejemplo de los últimos mencionados, son las enmiendas, que actúan indirectamente modificando las propiedades del suelo como su estructura o el pH (Salgado *et al.*, 2012).

En diversos intentos por tener una manera más sencilla y eficiente de administrar a los fertilizantes, estos han sido agrupados en una gran variedad de maneras, una de las más comunes es la que los clasifica de acuerdo a la concentración de macronutrientes que contienen en su presentación, consiguientemente se pueden diferenciar cuatro tipos de presentaciones el primero de ellos es un grupo de

fertilizantes conocidos como simples ya que contienen un solo macronutriente disponible para el aprovechamiento del vegetal.

En ésta misma clasificación podemos encontrar a los fertilizantes compuestos que a grandes rasgos se distinguen de los demás por su composición química, la cual, mediante una sola molécula se pueden presentar más de uno de los macronutrientes necesarios para las plantas, por otro lado se encuentran los fertilizantes complejos, que reciben su nombre al estar compuestos por dos o más macronutrientes primarios y por último se encuentran las llamadas mezclas físicas que están elaboradas a base de fertilizantes sólidos de baja concentración. Otra manera en la que se han clasificado a los fertilizantes es por el origen de donde se obtienen, siguiendo esta vertiente se pueden diferenciar dos grandes grupos; los fertilizantes orgánicos y los fertilizantes químicos (Thompson *et al.*, 1988).

2.15. Fertilizantes Químicos

Los fertilizantes químicos, conocidos comúnmente también como fertilizantes inorgánicos o fertilizantes minerales, son fertilizantes con contenido nutrimental que no corresponde a ningún contenido de origen vegetal o animal, sino que por el contrario los fertilizantes minerales se caracterizan por provenir de fuentes naturales y por fuentes sintéticas, siguiendo esta lógica se han tenido que subdividir a su vez para diferenciarlos en fertilizantes naturales y fertilizantes sintéticos, los primeros, como su nombre lo indica, son los obtenidos de la naturaleza, como el amoníaco del carbón coque, la roca fosfórica, el cloruro de potasio natural, etc., mientras que los fertilizantes sintéticos son los obtenidos mediante procesos químicos y de diseño en laboratorio (Casal *et al.*, 2000).

Los fertilizantes químicos son usados a nivel mundial con una gran demanda debido a que estos han permitido a los sistemas de producción agrícola mantener (y en muchos casos aumentar) los rendimientos de los cultivos, ya que a diferencia de los abonos orgánicos, estos pueden expresar resultados a corto plazo y con esto han

logrado aumentar de manera significativa las tasas de retorno del capital invertido, dejando a un lado nuestro deber de cuidar la tierra y de regresar al suelo los nutrientes que se pierden durante las prácticas agrícolas y que lamentablemente han acarreado consecuencias adyacentes a los sistemas biológicos (Salgado *et al.*, 2012)

2.16. Abonos Orgánicos

Los fertilizantes orgánicos también conocidos como abonos orgánicos, se refieren a los productos de origen animal o vegetal que por la complejidad de su composición contienen una gran riqueza nutrimental y que en consecuencia son un gran número de materiales orgánicos y de desechos que pueden ser utilizados como abonos y suministro de nutrientes para los organismos vegetales. Los abonos orgánicos pueden clasificarse según su origen y naturaleza, en biofertilizantes y fertilizantes orgánicos (Casal *et al.*, 2000).

Por parte de los biofertilizantes se puede reconocer a organismos que logran seguir una interacción biológica donde consorcios de organismos de otras especies como la que logran establecer los hongos micorrízicos de los que destacan los géneros *Glomus*, *Scutellospora*, *Acanlospora* y *Gigaspora* y/o bacterias como las de los géneros *Rhizobium* y *Azospirillum* con la capacidad de poder aportar nutrientes al formar asociaciones simbióticas con las plantas, mientras que los fertilizantes orgánicos comprenden a los estiércoles, compostas, esquilmos, abonos verdes, desechos de plantas agroindustriales, aguas negras con sus derivados y efluentes de biodigestores (Salgado, *et al.*, 2012).

2.17. Materia Orgánica

En la naturaleza los residuos existentes que aparecen como resultado de los ciclos biológicos son conocidos como materia orgánica, como ya se hace referencia, estos residuos provienen de los organismos que en algún momento tuvieron vida, como las plantas y los animales incluyendo además sus productos de desecho que día a día

contribuyen a sus diferentes medios en los que se desarrollan, estos residuos que para ellos son desechos son reutilizados por otros organismos como materia prima para generar energía y de este modo poder sobrevivir.

Las estructuras básicas están formadas de distintos compuestos como la celulosa, tanino, cutina y lignina junto a otra gran variedad de proteínas, azúcares y lípidos, todos estos compuestos juegan un rol de extrema importancia ya que es mediante ellos que se conserva un flujo de nutrientes continuo en el medio ambiente. Debido a estos orígenes la materia orgánica natural puede variar sustancialmente, ya que diversos factores intervienen en su proceso de descomposición como la edad y medio ambiente del organismo en cuestión, además del proceso de descomposición mediante el cual la materia se transforma en otros compuestos, por ello, las funciones que la materia orgánica desarrolla en términos biológicos, químicos y físicos son muy diversas dentro de los ecosistemas (Audesirk *et al.*, 2008).

La materia orgánica representa del 95% al 99% del total del peso seco de los seres vivos, sin embargo, su presencia en los suelos suele ser escasa y son contadas las excepciones en las que supera el 5% este porcentaje también varía de acuerdo al tipo de suelo del que se trate, ya que los niveles deseables de materia orgánica en los suelos arcillosos medios es del 2% pudiendo descender hasta 1.65% en suelos pesados y llegar hasta un 2.5% en los arenosos (Navarro *et al.*, 1995).

Julca y colaboradores en 2006 mencionan diferentes parámetros que pueden afectar significativamente la composición de materia orgánica en los procesos de descomposición tales como los microorganismos, en los que se engloban virus, bacterias, hongos, algas, ácaros, nematodos y las raíces vivas de las plantas superiores, por otro lado también se hace mención de factores físicos que pueden intervenir directamente en los procesos biológicos como el contenido de humedad, pH, temperatura, desinfectantes y pesticidas. Por lo anterior, el autor recomienda que se tomen las suficientes medidas en este tipo de prácticas, ya que son muchos los factores que pueden intervenir en estos procesos, obteniendo diversos resultados lo que puede

devenir en una tarea difícil en cuanto a la comprensión e interpretación de resultados (Quinteiro *et al.*, 1998).

2.18. pH

El potencial de hidrógeno, tiene diversos efectos sobre las relaciones ecológicas y una influencia destacable en la química del suelo; el pH puede afectar las especies que crecerán y el tipo de organismos que estarán presentes. Uno de los efectos más importantes del pH sobre el crecimiento del árbol es la disponibilidad de minerales. En ciertos niveles de pH, los elementos esenciales forman compuestos químicos que son insolubles en el agua y, por lo tanto, las plantas no los pueden aprovechar, ya que es bien sabido que las plantas sólo pueden aprovechar los minerales que se encuentran disueltos en el agua.

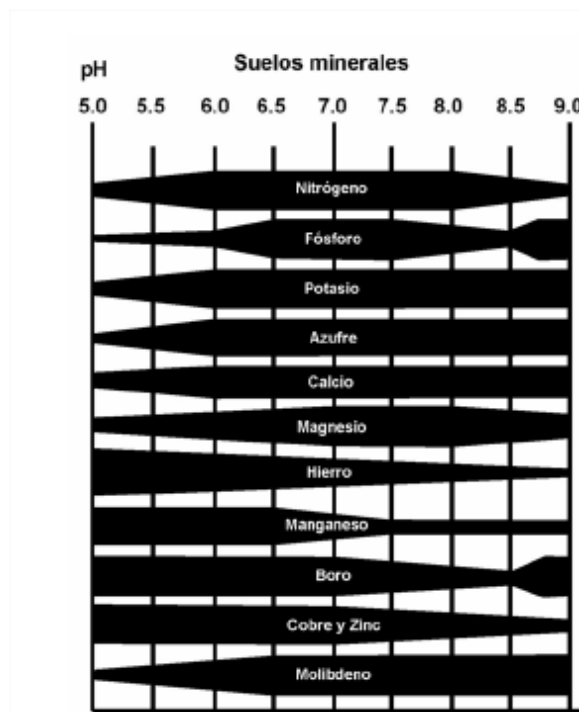


Figura 1. Disponibilidad relativa de elementos esenciales a diferentes niveles de pH para suelos minerales (Imagen tomada de Sociedad Internacional de Arboricultura, 1999).

La deficiencia de algunos nutrientes a causa del pH ha sido estudiada a detalle, así, se sabe que en suelos muy ácidos (pH de 5.5 o menor), el fósforo puede ser deficiente y otros elementos pueden llegar a ser tóxicos (Fig. 1). En contra parte, los suelos alcalinos pueden acarrear la indisponibilidad de compuestos con hierro ó manganeso, ya que la forma química de estos elementos cambia a sus formas sólidas. No obstante, la disponibilidad de otros nutrientes puede aumentar en un pH más alto, tal es el caso del calcio, magnesio y potasio. Como se ha venido describiendo, diferentes parámetros pueden afectar sobre el desarrollo de las especies vegetales, aunque de manera natural, estas diferencias en las características definen los distintos tipos de vegetación que existen en la diversidad biológica, como los matorrales xerófilos, pastizales, bosques tropicales y los bosques templados por mencionar algunos (Sociedad Internacional de Arboricultura, 1999).

2.19. Bosques Templados

La abundancia de agua en estos biomas, implica que los árboles no necesitan deshacerse de sus hojas en el otoño, por lo que casi todos los árboles son de hojas perennes, sin embargo, esta condición no es una constante ya que estos bosques tienden a ser muy diversos, mostrando en ocasiones una mayoría de árboles caducifolios. Las características fisiológicas de la vegetación, así como la precipitación abundante (en comparación con otros ecosistemas) le confiere a los bosques de clima templado su peculiar ambiente (Audesirk *et al.*, 2008).

El bosque templado es uno de los ecosistemas más diversos presentes en el territorio mexicano, se caracteriza por el clima semifrío que hace hincapié en el nombre de este tipo de bosques, también es posible clasificarlos de acuerdo a las especies predominantes dando lugar a otras variaciones como bosque de Oyamel, de cedro, de encino, de coníferas y de encinos y coníferas, en conjunto, estos bosques se encuentran mayoritariamente, aunque no de forma exclusiva, en las zonas montañosas a lo largo de la Sierra Madre Occidental, las Sierras Madre Oriental, del Sur y del Sur de Chiapas, el

eje Neovolcánico, la Sierra Norte de Oaxaca y los altos de Chiapas, así como en distintas serranías y montañas aisladas en el Altiplano y entremezclados en las planicies tropicales (Challenger, *et al.*, 2008; INEGI 2014).

2.20. Deforestación

La riqueza y abundancia de especies arbóreas que pueden presentarse en estos bosques mexicanos ha promovido una gran cantidad de actividades de extracción, dándole usos como combustible, para la construcción, ebanistería, etc., la tala de árboles también se ha practicado inconmensurablemente con una doble intención, por un lado el de obtener un beneficio económico dada la alta demanda y valor en algunos casos de la madera y por otro el de propiciar la deforestación con el objetivo de dar paso a la expansión de territorios con uso en la agricultura.

Estas prácticas ambiciosas han llevado a la disminución considerable o en los peores escenarios, a la pérdida de estos ecosistemas en un gran número de regiones en el mundo, un ejemplo de ello en nuestro es que en el territorio nacional con datos expuestos por INEGI se manifestó que para el año 2003 se tenían registradas 43.96 millones de hectáreas de territorio ocupado por estos tipos de bosque y apenas cinco años después, concretamente para el 2008 esta cifra disminuyó hasta 21.19 y 11.13 millones de hectáreas en condición primaria y secundaria, respectivamente, datos que corresponden a un aproximado del 16.45% de la superficie del territorio mexicano (Challenger, *et al.*, 2008; INEGI, 2014).

La política forestal expresa la preocupación internacional por las presiones de la deforestación, incluyendo el comercio de maderas tropicales, la conversión de bosques a usos agrícolas, así como los efectos de la deforestación sobre el cambio climático, la biodiversidad y las comunidades locales dependientes de los recursos forestales, ya que la pérdida de cobertura vegetal acarrea alteraciones en los ciclos hidrológicos y bioquímicos que en consecuencia generan la pérdida de uso de múltiples bienes y servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas. En el centro de la mayoría de

los problemas forestales contemporáneos encontramos a la deforestación o a su sinónimo más semejante; la explotación forestal (Hyde *et al.*, 2001; Velázquez *et al.*, 2002).

En México la disminución de cobertura vegetal es un problema de gran preocupación ya que como se mencionaba con anterioridad, existen grandes pérdidas de vegetación en nuestro país año con año. El recurso maderero que proporcionan los bosques ha sido motivo de grandes pérdidas de territorio boscoso, sin embargo, se han reportado estudios donde se pueden apreciar resultados diferentes, en 2014, Rosete y colaboradores, reportaron que el destino principal de las superficies deforestadas es la agricultura de temporal, además estimaron que la velocidad con la que se pierde la cobertura vegetal no ha disminuido, sino que ha llegado a una velocidad relativamente estabilizada de 500,000 ha por año, esto de acuerdo a datos tomados de la INEGI, mismo que abarcan un periodo de tiempo entre 1976 hasta el 2007.

La velocidad con la que se deforesta en nuestro país (500,000 ha por año) además, se considera subestimada ya que este dato no considera el 100% de la superficie ocupada por la vegetación secundaria, misma práctica que se detectó a partir del año 2006 (Rosete *et al.*, 2014). Esta pérdida de cobertura boscosa afecta a una gran diversidad de especies, entre las que se pueden considerar los pinos y encinos como el pino azul y el encino colorado.

Sin duda, la deforestación es una problemática que acarrea cualquier país, por lo que se deben buscar medidas para aminorar, y en el mejor de los escenarios, revertir los estragos causados a los ecosistemas, en donde el principal responsable es la humanidad de la que formamos parte. A continuación se hace una descripción de dos especies arbóreas con un valor ecológico importante; *P. maximartinezii* y *Q. crassipes*.

3. Descripción Morfológica

3.1. Descripción de *Pinus maximartinezii* Rzed.

Pino azul es el nombre común con el que se ha denominado a *P. maximartinezii* mismo nombre que hace referencia a una de sus características más llamativas; el color de su follaje verde azulado. Estos árboles oscilan en alturas de 6 a 15 metros aproximadamente distinguiéndose además por ser más ancho que alto, presenta muchas ramificaciones que se manifiestan a poca altura desde la base además de que son lisas y de color gris algo brillante formando en conjunto una copa redondeada.

El tronco puede llegar a medir hasta 50 cm de diámetro con un súber irregular y cuadrangular. Las ramas de su follaje son delgadas y de crecimiento lento, principalmente glabras y con las bases de las hojas pequeñas, por otro lado los brotes jóvenes son glaucos tornándose de un color marrón hacia una coloración gris (Fig. 2. C. y E.), (Farjón *et al.*, 1997; Flores, 2013).

Las acículas son de agujas extendidas, laxas y persistentes, cada fascículo es de cinco y en raras ocasiones de tres o cuatro acículas que oscilan en su tamaño desde 7 hasta 11 cm de largo por 0.4 a 0.6 mm de ancho, estas son triangulares con un ápice obtuso, de color verde intenso y brillantes en la cara interior; sus ramas son ascendentes y colocadas de forma irregular sobre el tallo, el margen es entero observándose a veces algunos dienteillos irregulares, en la cara ventral se encuentran los estomas que se disponen en una configuración de dos a tres hileras longitudinales, generalmente poseen dos canales resiníferos externos y un haz vascular (Flores, 2013).

Los estróbilos femeninos maduran en el segundo año, presentan una forma orbicular ovalada de color castaño claro y muy resinoso, con medidas desde los 15 hasta los 23 cm de largo por 11 a 13 cm de diámetro llegando a pesar hasta 2 kg, en el eje central de cada cono se encuentran insertadas entre 60 y 100 escamas duras y

rígidas, cóncavas en la cara superior, en disposición helicoidal. El umbo dorsal es irregular tetra hexagonal de hasta 5 cm de ancho y 2.5 cm de altura en las escamas centrales; apófisis piramidal de hasta 3 cm de largo, color castaño con un poco de brillo. La cúspide es protuberante y gruesa, de color castaño oscuro, con escamas centrales de hasta 15 mm de largo, con espina diminuta o nula (Fig. 2. A. y B) (Rzedowski, 1964; citado por Núñez, *et al.*, 1985; citado por Flores, 2013). Los cotiledones de *P. maximartinezii* se presentan de 18 a 24 hojas cotiledóneas, siendo esta última cantidad la máxima observada para esta especie, por otro lado son 12 pares de cromosomas y de uno a cuatro embriones (Flores, 2013).

Las semillas se exhiben en pares por cada escama y en algunas ocasiones solo se presentan individualmente, las semillas carecen de ala y ostentan una forma de oblonga a ovalada, con medidas desde 22 a 28 mm de largo por 10 a 12 mm de ancho, las semillas manifiestan un color de castaño a negruzco (Fig. 2. D). Su cubierta seminal externa tiene la característica de ser dura, delgada y fácilmente desprendible, su grosor se encuentra alrededor de los 2 mm aproximadamente, otras características morfológicas distintivas es la de ser arrugada y de color castaño; por otro lado, las almendras son aceitosas con colores que pueden variar entre el blanco, el marfil y el amarillo, las medidas suelen encontrarse alrededor de los 18 y 22 mm de largo con un grosor entre los 5 y 7 mm. (Rojas, 2009; citado por Flores, 2013).

En cuanto a la fenología de los pinos azules, esta corresponde a los meses de Febrero a Marzo y su ciclo reproductivo corresponde a los cuatro años, produciendo semillas a partir de los 25 años de edad, aunque de manera comercial esta edad se puede recorrer hasta los 40 años, mientras que sus años semilleros se exhiben cada cinco años aproximadamente (Aguilera, 2001; citado por Flores, 2013).



Figura 2. Estructuras de *P. maximartinezii*. A., B. Ramas y conos. C. Ramillas. D. Semillas. E. Plántula. (Imagen tomada de González, *et al.*, 2011).

3.2. Descripción de *Quercus crassipes* Humb. & Bonpl.

Este encino es conocido comúnmente con el nombre de “encino colorado”. Estos árboles oscilan entre los 4 y los 17 metros de altura, sin embargo se pueden observar alturas mayores.

El tronco presenta medidas entre 0.4 y 1 m de diámetro y el súber de este presenta placas alargadas y de un color oscuro; las ramillas son de 1 a 2 mm de diámetro, exponiendo a su vez una pubescencia densa y amarilla, formada por tricomas estrellados con un estípite muy pequeño. Por otro lado las lenticelas presentan medidas de hasta 1 mm de largo con un color pálido hasta el mismo color de las ramas, las yemas miden entre 1.5 y 4.5 mm de largo, caracterizadas por ser ovoides, de color café a rojizo, con escamas coriáceas, bordes ciliados; mientras que las estípulas varían de entre los 7 y 8 mm de largo lineares, lanceoladas, membranosas pubescentes en el dorso y deciduas. En el caso de las hojas jóvenes, presentan abundante pubescencia amarilla en haz y envés, principalmente en la nervadura central, mientras que las hojas maduras son coriáceas, angostamente elípticas, lanceoladas u oblanceoladas, el ápice mucronado o con arista de 3 mm de largo, base redondeada o subcordada, el borde es entero, revoluto y engrosado (Romero *et al.*, 2002).

Las nervaduras se presentan de 9 a 10 en cada lado, rectas o algo curvadas, formando ángulos casi rectos y bifurcados cerca del margen. El haz es algo lustroso con un color de verde a grisáceo, glabro o con pequeños tricomas estrellados, dispersos y muy abundantes en la base de la hoja, con la nervadura central elevada y las primeras impresas, las más finas forman un retículo pálido sobre un fondo verde y por otro lado en el envés se manifiesta una pubescencia densa y grisácea con tricomas estrellados estipitados, con 5 a 6 rayos extendidos, epidermis ampulosa, también es menester señalar que presenta nervaduras ligeramente elevadas y peciolas de color amarillento ó rojizo, pubescentes o casi glabros y de 2 a 7 mm de largo generalmente aunque se pueden presentar casos que varían hasta un mínimo de 1 y máximo de 10 mm de largo

y de 0.5 a 1 mm de diámetro, los amentos masculinos son generalmente de 5 a 5.5 cm de largo (Fig. 3).

Las flores se presentan con el perianto escarioso de 4 por 3 mm, de color café a rojizos, pubescentes, los estambres que se presentan son 5 y de 3 mm de largo con anteras apiculadas. Las flores femeninas se manifiestan de 1 o 2 por pedúnculos de 5 mm de largo o menos y de 2 a 2.5 mm de diámetro (Romero *et al.*, 2002).

El fruto es bianual y se puede presentar solitario o aparecen pedúnculos de 2 a 8 mm de largo, la cúpula es hemisférica de 11 a 17 mm de diámetro con márgenes a veces involutos, las escamas son engrosadas en la base, pubescentes y a veces glabrescentes. Por parte de las bellotas estas son ovoides con una pared interna del pericarpo lanosa, las medidas que se han descrito oscilan entre los 12 y 17 mm de largo por 8 a 15 mm de diámetro esto cerca de la tercera parte de su largo incluyéndose en la cúpula (Romero *et al.*, 2002).

La fenología de *Q. crassipes* es conocida por su floración en mayo y su fructificación en los meses que abarcan desde septiembre hasta el mes de enero.



Figura 3. Características taxonómicas de *Q. crassipes*. A. Ramilla. B. Frutos. C. Tricomas. D. Hojas (Imagen tomada de Romero *et al.*, 2002).

4. Antecedentes

En 2005 Hernández y colaboradores demostraron que en tratamientos con lodos residuales y estiércol bovino sobre *Sorghum vulgare*, se obtuvo una mayor producción de forraje en base seca, en comparación con tratamientos donde se utilizaron fertilizantes químicos y en tratamientos sin fertilizantes.

Se ha demostrado que las sustancias húmicas, las cuales se encuentran en los efluentes líquidos de plantas de tratamiento de residuos sólidos, tienen un efecto promotor del crecimiento de las plantas, debido a que incrementan la permeabilidad de las membranas celulares promoviendo una mejora en la absorción de agua y transporte de minerales, además de que se hace presente un aumento en la síntesis de proteínas, portando una actividad parecida a la de las hormonas que incrementan la fotosíntesis y tienen efecto sobre la actividad enzimática (Chen y Aviad, 1990).

El efecto de sustancias húmicas puede ser similar al efecto del ácido indol acético (AIA), auxina promotora del crecimiento, Mato *et al.*, (1972) mostraron que las sustancias húmicas pueden actuar como hormonas del crecimiento, ya que inhiben la acción de la AIA-oxidasa, impidiendo la destrucción del AIA; por lo que el mantenimiento de la alta actividad del AIA afecta positivamente el crecimiento de la planta.

Existen estudios que han revelado interesantes resultados en donde la aplicación foliar de ácido húmicos en agricultura, precisamente para la producción de tomate, remolacha y begonia incrementan el crecimiento de tallos y hojas. Y que aspersiones foliares de estas sustancias a dosis de 50 a 300 mg/litro favorecen el crecimiento del sistema radical y del brote en soya, cacahuete y trébol, pero dosis mayores a estas inhiben el crecimiento (Chen y Aviad, 1990).

En olivo, la aplicación foliar de sustancias húmicas estimula el crecimiento de raíces e incrementa la concentración de minerales en las hojas (Fernández *et al.*, 1996) por otro lado Pineda y colaboradores (2008), evaluaron la aplicación foliar de efluentes líquidos, encontrando que el uso de éste, promovió la mayor altura (50.2 cm), el número de ciatios (64), el área de brácteas (3,884 cm²), el peso seco total y el peso seco foliar (39.6 y 13.6 g.planta⁻¹), respectivamente.

Pineda y colaboradores en el 2008 reportaron una mejora en el crecimiento de Nochebuena, utilizando efluentes y lodos de plantas residuales, encontrando que el aumento en las concentraciones nutrimentales (debido a la descomposición de la materia) tiene una relación con la efectividad del fertilizante orgánico al aumentar el crecimiento y número de ciatos en *Euphorbia pulcherrima*, además de esto el efecto positivo también se presentó cuando el efluente se aplicó en combinación con un sustrato con menores niveles de fertilidad, en este caso en particular con Tezontle.

En 1983 Tang menciona que el etileno es otra sustancia que puede estar involucrada en el mejoramiento de producción vegetal al ser sometidas a lodos residuales, ya que el etileno también es un regulador del crecimiento vegetal y además este es producido por las plantas y los microorganismos del suelo. En el caso particular de este autor, encontró un aumento significativo de etileno al aplica residuos compostados sobre suelos bajo condiciones de inundación.

En 2002, Castrejón evaluó la calidad de lodos residuales de 18 plantas de tratamiento en México, encontrando que el principal parámetro que impide el aprovechamiento de estos residuos, es el alto contenido de microorganismos, sin embargo, otros factores evaluados, como los parámetros CRETIB, metales pesados, *Salmonella*, huevos de helminto y sólidos totales fijos y disueltos, resultaron ser, en su gran mayoría, buenos y excelentes según la NOM-004.

Salcedo y colaboradores en 2007, evaluaron los beneficios de usar un lodo residual como abono orgánico en la producción de maíz y en el desarrollo inicial de

Pinus douglasiana en suelos de origen volcánico, encontrando una supervivencia del 86% en su dosis más alta (100 gr de lodo por árbol) contra un 67% de supervivencia en el grupo control y tallas más grandes en cuanto a diámetro del tronco y altura del mismo correspondientes a un 18% en comparación con el grupo control.

Cordero en 2010, sugiere que a medida que se hace mayor uso de efluentes de aguas residuales tratadas para el riego y biosólidos como abono, la variedad de metales debe ser determinada para evaluar los efectos adversos que se puedan suscitar en este tipo de prácticas. Lo anterior luego de evaluar el desarrollo de *Cupressus lindley* sometida a la aplicación de lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria, como abono orgánico.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Evaluar las características nutrimentales y de calidad de los efluentes líquidos para su posible aplicación como fertilizante orgánico en la producción de especies forestales.

5.2. Objetivos Particulares

Realizar un análisis de la calidad del efluente líquido, según lo dispuesto en la NOM-004, para su disposición final en la producción de especies forestales.

Determinar las concentraciones de Nitrógeno y Fósforo del efluente líquido.

Realizar una comparación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo, Cobre, Zinc y Hierro, presentes en el lodo, con las concentraciones de un fertilizante comercial de uso forestal y de un fertilizante comercial de aplicación foliar.

Describir el crecimiento de *P. maximartinezii* y *Q. crassipes* sin el uso de fertilizantes.

6. Material y Metodología

6.1. Obtención de Lodos

Se obtuvieron lodos residuales de una planta piloto de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la Facultad de Química de la UNAM que utilizan digestión anaerobia en su proceso. Los lodos obtenidos fueron centrifugados para obtener una fase líquida y una sólida, una vez separadas las dos fases, el efluente líquido fue almacenado en envases de plástico a una temperatura de 2-4 °C, hasta la realización de los análisis.

6.2. Análisis de Calidad del Lodo

Para el análisis de la calidad de los efluentes, se consideraron los parámetros establecidos por la NOM-004 en materia de lodos y biosólidos; metales pesados (Cadmio, Cromo, Arsénico, Mercurio, Cobre, Zinc, Plomo y Níquel), sólidos volátiles, sólidos fijos, sólidos totales y un análisis bacteriológico, los resultados fueron comparados con los límites permisibles establecidos por la norma.

Para el análisis de metales pesados, el efluente líquido fue sometido a una digestión para poder cuantificar las concentraciones de metales mediante absorción atómica, según el método de la EPA: 3050B. y para la determinación de coliformes totales se utilizó la técnica del número más probable.

6.3. Caracterización de Nutrientes y Materia Orgánica

Por otro lado se realizó un análisis para cuantificar las concentraciones de Nitrógeno total mediante la técnica de Kjeldahl, Fósforo total con la técnica de cloruro estano, Hierro, Cobre y Zinc a través de absorción atómica (método EPA 3050B) los resultados obtenidos fueron comparados con un fertilizantes comercial de uso forestal marca Basacote Plus Mini Prill y con un fertilizante comercial para aplicación foliar de alta concentración marca Gro-Green Campbell, por otro lado el pH se determinó

mediante potenciometría y por último para la determinación de materia orgánica se llevó a cabo la cuantificación de sólidos totales, fijos y suspendidos (calculados mediante la técnica de diferenciación de pesos) y por otro lado se estimó la demanda química de oxígeno (DQO) mediante la técnica de reflujo cerrado y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) mediante dilución.

6.4. Obtención de *Q. crassipes* y *P. maximartinezii*

Los ejemplares de *Q. crassipes* que se utilizaron en este proyecto, provienen del invernadero de la FES Iztacala, que a su vez colectó las semillas en el estado de México, en el Municipio de Nicolás Romero, ubicado al Noreste de la entidad, colindando al norte con los Municipios de Villa del Carbón y Tepotzotlán, al Este con Cuautitlán Izcalli, al Sur con Temoaya, Isidro Fabela y Atizapán de Zaragoza y al Oeste con los Municipios de Jiquipilco y Villa del Carbón (Fig. 4). El Municipio de Nicolás Romero coincide con las siguientes coordenadas geográficas; Latitud Norte, del paralelo 19° 33' 50" al paralelo 99°32' 00" a 2900 m.s.n.m. (Arcos, 2009).

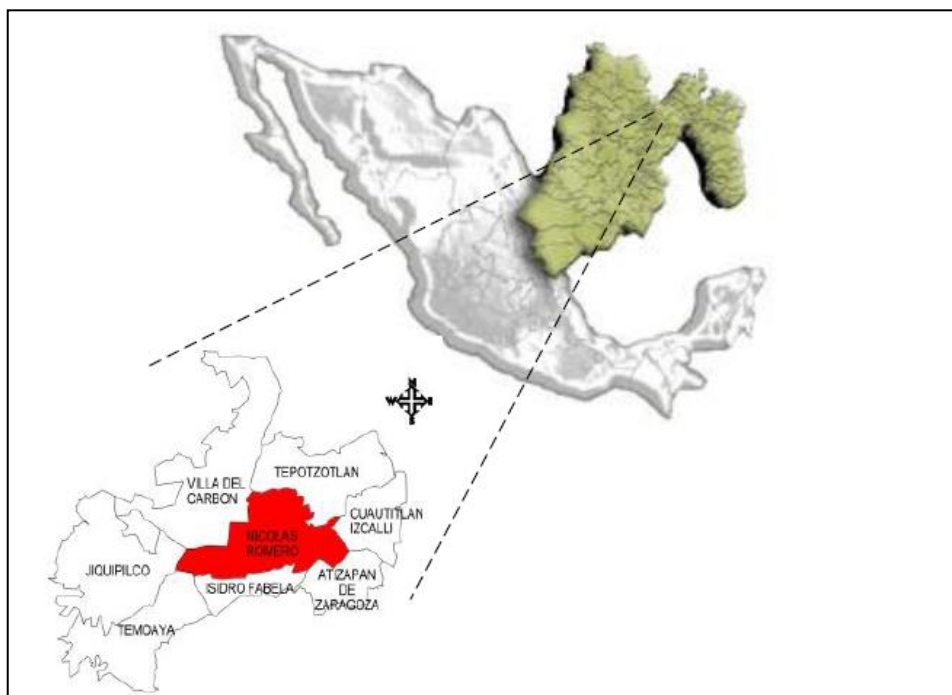


Figura 4. Colindancias a los cuatro vientos del Municipio Nicolás Romero con otros municipios. (Imagen tomada de Arcos 2009).

Los ejemplares de *P. maximartinezii* fueron obtenidos del de la FES Iztacala misma que obtuvo las semillas del Cerro de Piñones perteneciente a la Sierra de Morones, en el municipio de Juchipila ubicado al sur del estado de Zacatecas (Fig. 5), este municipio limita al norte con el Municipio de Apozol, al este con el de Nochistlan, al sur con el de Moyahua y al oeste con el municipio de



Figura 5. Estado de Zacatecas y sus municipios. (Imagen tomada de INAFED 2014)

Teul. El municipio obedece a las siguientes coordenadas geográficas, Latitud Norte; entre los paralelos $21^{\circ} 19'$ y $21^{\circ} 22'$ y de Longitud Oeste el meridiano $103^{\circ} 10'$, a una altura de 1138 metros sobre el nivel del mar (INAFED, 2014; González, 2011).

6.5. Descripción del crecimiento de *Q. crassipes* y *P. maximartinezii*

Para valorar la efectividad de los efluentes líquidos utilizados como fertilizantes es necesaria la revisión de antecedentes de investigación en donde se evalúe el comportamiento que describen las especies forestales a lo largo de su desarrollo, sin embargo, la información para algunas especies es algo limitada como es el caso de *P. maximartinezii* y *Q. crassipes*, por ello se realizó en este trabajo una descripción del crecimiento de estas dos especies durante tres meses, para esto se realizaron mediciones de la altura, diámetro del tallo y cobertura en 210 ejemplares de pino azul y 210 para los encinos.

Los organismos obtenidos se ubicaron en la casa de sombra de la CUSI Almaraz en bolsas de 25 x 25 cm en el caso de los encinos y con respecto a los pinos azules en bolsas de 25 x 25, 30 x 30, 40 x 40 y 50 x 50 cm según el tamaño del pino, el sustrato que se utilizó está compuesto por 33% de agrolita, 33% de tierra negra y 33% por un agregado de residuos de pino y encino, además se les destinaron los cuidados necesarios; los cuales consistieron en ser regados tres veces por semana y monitoreo constante para el control de plagas y de especies competidoras.

Los datos de crecimiento obtenidos fueron detallados mediante cálculos de medidas descriptivas tales como; media, mediana y desviación estándar. Mientras que los resultados de parámetros físicos, químicos y biológicos fueron analizados y comparados para la definición de los efluentes líquidos en su aplicación como fertilizante orgánico en la producción de especies forestales.

7. Resultados y Discusión

7.1. Metales Pesados

Como se ha venido mencionando, algunos elementos pueden resultar contraproducentes en el desarrollo de vegetales. En el caso de los metales pesados (Cuadro 1) se puede observar que todos los parámetros se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por la NOM-004, esto en gran medida a que los límites establecidos por la norma están basados en la base seca de muestras de lodos residuales. Comparado con el efluente del que trata el presente trabajo, el cual se encuentra dividido en dos fases, estos resultados se ajustan con lo esperado.

Cuadro 1. Concentración de metales pesados de la muestra del efluente líquido y su comparación con los límites permisibles establecidos por la NOM 004.

<i>Parámetro</i>	<i>Concentración (mg /L)</i>	<i>Límite Máximo Permissible (mg/L)</i>	
		Excelentes	Buenos
<i>Cadmio</i>	Sin Cadmio	39	85
<i>Mercurio</i>	1.025	17	57
<i>Cobre</i>	0.0813	1500	4300
<i>Zinc</i>	0.343	2800	7500
<i>Plomo</i>	0.259	300	840
<i>Níquel</i>	0.641	420	420
<i>Cromo</i>	34.8	1200	3000
<i>Arsénico</i>	0.028	41	75

Castrejón en 2002 reportó las concentraciones de metales pesados en efluentes de 18 plantas de tratamiento, sus resultados reflejan una oscilación ligera y considerablemente estable para la mayoría de los metales reportados para las plantas de tratamiento evaluadas, de estas plantas donde solo dos mostraron una variación considerable a diferencia de los otros lodos evaluados. Los datos encontrados en este trabajo se encuentran incluso por debajo de las concentraciones reportadas en el trabajo de Castrejón, por lo que se considera que estos parámetros no representan un problema

para su uso como fertilizante forestal. Cabe añadir que aún con estos resultados es importante el monitoreo en estas prácticas, tal y como se menciona en la norma oficial.

7.2. Coliformes Fecales

En cuanto a la concentración de coliformes totales se repitió el análisis con el fin de tener más confiabilidad en relación a este parámetro, ya que se ha reportado con anterioridad que los microorganismos de este tipo generalmente se encuentran muy por encima de los valores establecidos por la NOM 004 (Castrejón, 2002), no obstante, los resultados obtenidos para este trabajo acatan los límites permisibles (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coliformes fecales de dos muestras, comparadas con los límites permisibles de la NOM-004.

<i>Patógeno</i>	<i>NMP/ 100ml</i>	<i>Límite máximo permisible</i>		
		Clase A	Clase B	Clase C
<i>Coliformes fecales</i>	1,600	< 1,000	< 1,000	< 2,000,000
<i>Coliformes fecales (2° muestra)</i>	700	< 1,000	<1,000	< 2,000,000

Es importante resaltar la variación que hubo en las dos medidas realizadas para coliformes fecales, ya que en el primer análisis el resultado fue más del doble que para la segunda determinación, esto puede recaer considerablemente en la característica que tienen estos residuos, ya que por su constante variación en los influentes de las plantas de tratamiento, los efluentes también pueden presentar estas variaciones, tal y como lo mencionaron Quinteiro y colaboradores en 1998. Por otro lado, estos resultados no concuerdan con lo reportado por Castrejón en 2002, quien menciona que el principal factor que impidió el uso de lodos residuales fueron las altas concentraciones de microorganismos, no obstante es importante señalar que esta diferencia de resultados se puede atribuir en gran medida a la metodología utilizada la cual consistió en centrifugar los lodos para obtener una fase líquida y una sólida, donde muy probablemente se haya concentrado una gran cantidad de materia orgánica y residuos.

De acuerdo con los parámetros establecidos por la NOM-004 para la disposición final de lodos residuales, se clasifica a los resultados de la primera muestra de efluente líquido como excelentes clase C; y para el segundo análisis como excelentes clase A, lo anterior indica que los lodos pueden ser utilizados como abonos orgánicos para producción forestal sin contacto público directo durante su aplicación.

7.3. Nutrientes

Los análisis a los que se sometieron los efluentes líquidos para la determinación de nutrientes, revelaron las concentraciones en mg/L expuestas en el Cuadro 3, es menester hacer hincapié en que estos resultados son el producto correspondiente a la fase líquida de la precipitación a la que se sometió el lodo residual, por lo que cabría esperar que la fase sólida tenga concentraciones mucho más elevadas.

Cuadro 3. Concentración de macronutrientes y micronutrientes en mg/L del efluente líquido.

<i>Nutriente</i>	<i>Concentración en mg/L</i>
<i>Nitrógeno</i>	350
<i>Fósforo</i>	141
<i>Hierro</i>	0.4223
<i>Cobre</i>	0.0813
<i>Zinc</i>	0.343

La comparación con los fertilizantes comerciales (Cuadro 4) demuestra que el efluente líquido tiene concentraciones muy bajas en relación a estos (39 veces menor), no obstante, la relación entre las concentraciones de Nitrógeno y Fósforo con las concentraciones de Hierro, Cobre y Zinc resultan (como era de esperarse) beneficiosas para el interés de este trabajo, ya que el Nitrógeno y el Fósforo son elementos que los árboles requieren en mayor medida para su desarrollo (Sociedad Internacional de

Arboricultura, 1999) mientras que otros elementos como el Hierro, Cobre y Zinc son requeridos en menor medida ya que en el caso de la aplicación foliar se ha demostrado que pueden tener efectos positivos en el desarrollo de diferentes especies debido a que las deficiencias de micronutrientes son bien asimiladas mediante esta forma de suministro (Rodríguez, 1982) y también teniendo en consideración que las dosis recomendables deben ser a bajas concentraciones (Trinidad, 1999).

Cuadro 4. Comparación de la composición de nutrientes en porcentaje por volumen (% p/v) del efluente líquido frente a dos fertilizantes comerciales.

<i>Nutriente</i>	<i>Concentración Gro-Green Campbell (% p/v)</i>	<i>Concentración Basacote Plus Mini Prill (% p/v)</i>	<i>Concentración Efluente líquido (% p/v)</i>
<i>Nitrógeno</i>	11	13	.35
<i>Fósforo</i>	8	6	.141
<i>Hierro</i>	.035	.15	.00004223
<i>Cobre</i>	.035	.15	.00000813
<i>Zinc</i>	.035	.06	.0000343

Cabe resaltar que los productos que desechan las plantas de tratamiento de RSO en forma de efluentes residuales pueden ser aprovechados por su potencial como fertilizante (otros subproductos son aprovechados como es el caso del gas metano) (CONAGUA, 2013). Ante la gestión de residuos sólidos de México donde la práctica del tratamiento de RSO es una constante de alta demanda ya que la generación de residuos aumenta paulatinamente (en el año 2005 se producían 48,400 toneladas RSO diarios) (INECOL, 2014), en conjugación a lo anterior los efluentes líquidos expuestos en este trabajo son subproductos que presentan otro tipo de ventajas, aun cuando los resultados revelaron bajas concentraciones nutrimentales en comparación de los dos fertilizantes comerciales expuestos, ya que económicamente usar efluentes líquidos es

menos costoso que la inversión en fertilizantes comerciales ya que como se mencionaba los efluentes líquidos tienen una alta disponibilidad por su constante producción, otra ventaja es que son menos agresivos con el medio ambiente, estas características en conjunto pueden acarrear también un escenario autosustentable en la aplicación forestal de estos efluentes (NOM-004-SEMARNAT, 2002).

Por otro lado, diversos autores han mencionado la importancia de los ácidos húmicos como detonantes para el desarrollo de especies vegetales, de hecho se considera que los ácidos húmicos pueden ser los responsables del crecimiento, potenciando mediante diferentes procesos, los nutrientes disponibles en el medio para su asimilación en el organismo de un vegetal, estos resultados se han reportado en diversos trabajos con aplicación foliar de efluentes líquidos (Fernández *et al.*, 1996; Chen y Aviad 1990), sin embargo para la aplicación de estos efluentes es menester considerar la concentración de estos nutrientes ya que para la aplicación foliar, las altas concentraciones de macronutrientes (como el Nitrógeno y Fósforo) pueden generar efectos adversos en el desarrollo de especies arbóreas (Sociedad Internacional de Arboricultura, 1999).

7.4. Materia Orgánica

La materia orgánica en el suelo también facilita los mecanismos de absorción de sustancias peligrosas como los clorofenoles, plaguicidas ó cloroanilinas, por lo que resulta conveniente tomar en consideración estas condiciones a la hora de plantearse la combinación de estas sustancias con la aplicación de abonos ricos de residuos orgánicos, tomando en cuenta además que los suelos por sí mismos ya contienen altas concentraciones de materia orgánica en el humus del suelo (Vangestel, 1996). Los resultados de las concentraciones de materia orgánica de las muestras de efluentes líquidos, se exponen a continuación en el cuadro 5, mediante los datos obtenidos de sólidos volátiles, fijos y totales, DBO y DQO, los cuales están expuestos en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Concentraciones de DBO, DQO, S. Fijos, S. Volátiles. S. Totales y pH.

<i>Parámetro</i>	<i>Concentración</i>
<i>pH</i>	7.89
<i>DBO</i>	47.6 mg/L
<i>DQO</i>	1630 mg/L
<i>S. Volátiles</i>	9456.5 mg/L
<i>S. Fijos</i>	20353.33 mg/L
<i>S. Totales</i>	29807.83 mg/L
<i>Materia orgánica</i>	31.72%

Los niveles de DBO (47.6 mg/L) muestran una gran cantidad de materia orgánica en las muestras del efluente analizado, lo cual está estrechamente relacionado con la cantidad de microorganismos calculados, no obstante, el resultado obtenido de DQO se encuentra en valores elevados, ya que se puede notar una pérdida en la relación que existe entre estos parámetros debido a que comúnmente la DQO se encuentra en concentraciones 200% mayores a las que se revelan para la DBO, sin embargo, los resultados obtenidos podrían dejar ver que en las muestras de efluente que se analizaron existe la presencia de material no biodegradable ya que este tipo de compuestos se pueden oxidar en el análisis de DQO.

Por otro lado, los sólidos volátiles calculados (9456.5 mg/L) indican que la materia orgánica existente es elevada (asociada a los sólidos volátiles) al representar el 31.72% de los sólidos totales, lo anterior, tomando en consideración otros trabajos como el de 2007 por Salcedo y colaboradores quienes registraron un porcentaje de materia orgánica de 30.63% en una composta a base de lodos residuales con residuos de jardinería, cabe destacar que la materia orgánica que se calculó en este trabajo corresponde solo a la fase líquida del lodo residual a diferencia de la estudiada por Salcedo la cual además se encontraba enriquecida. Este dato también se puede

relacionar con el resultado arrojado por la DQO, la cual demostró un alto valor que se puede asociar con material no biodegradable. Estos parámetros nos acercan a una idea más amplia de los componentes del efluente estudiado con valor para futuras investigaciones y no representando un impedimento para el uso de los efluentes como fertilizantes ya que la materia orgánica es indispensable para el enriquecimiento de los suelos sin representar un riesgo según la NOM-004.

7.5. pH

El pH que se encontró se ubica muy cerca de la neutralidad (7.89), se ha demostrado que el pH que generalmente se presenta en los lodos residuales oscila entre 6.7 y 7.9 (Acosta *et al.*, 2012), no obstante, aunque no se considera que el pH tenga consecuencias significativamente adversas con el resultado encontrado, ya que entre las propiedades del suelo se encuentra la capacidad de amortiguamiento de pH, aunque en este contexto sería recomendable saber el tipo de minerales que constituyen el suelo a utilizar en trabajos posteriores, ya que el efecto *buffer* se encuentra precisa en función de sus componentes y de su pH inicial (Cardona, 1996).

Se ha reportado que el pH a concentraciones entre 5 y 7 es de trascendencia para el desarrollo de especies arbóreas (Mollinedo *et al.*, 2005). Por otro lado, es menester señalar que estos parámetros ligeramente alcalinos pueden tener importancia en la retención de las bacterias en el suelo ya que la mayor parte de estos microorganismos y actinomicetos se desarrollan mejor a pH neutro y ligeramente alcalino, precisamente el pH encontrado de 7.89 también puede trascender en la disponibilidad de nutrientes (en caso de modificar el pH del suelo) ya que estos niveles de alcalinidad pueden afectar la disponibilidad de nutrientes como Fósforo, Hierro, Manganeso, Boro, Cobre y Zinc (Fassbender, 1982; Sociedad Internacional de Arboricultura, 1999).

En estos términos es importante señalar que estos niveles de potencial de hidrógeno son ideales para la optimización de estas prácticas, sin embargo, otros factores pueden intervenir en este proceso, como el pH del suelo ó la dilución a la que

se sometan los efluentes, lo que puede alterar las concentraciones significativamente, aunque en casos donde el pH se eleve más de lo reportado, sería recomendable utilizar alternativas para neutralizar esta condición e incluso crear grupos interdisciplinarios para solucionar este tipo de problema desde el tratamiento de los residuos.

Los resultados anteriores pueden aprovecharse para trabajos posteriores en conjugación con la evaluación del crecimiento que se realizó en el pino azul y encino colorado, en un contexto que además pueda aportar soluciones a favor de nuestros ecosistemas. A continuación se hace una descripción del crecimiento de estas dos especies evaluadas durante tres meses.

7.6. Evaluación del crecimiento de *P. maximartinezii*

Las medidas descriptivas de *P. maximartinezii* para los meses de Agosto, Septiembre y Octubre, mostraron un comportamiento creciente, tanto las mediciones para la obtención de la altura como para la cobertura y el diámetro del tallo. Los parámetros evaluados mostraron un crecimiento constante, esto a pesar de las condiciones que pueden afectar en el desarrollo de esta especie, como las constantes precipitaciones que se presentaron a medio mes de agosto, cabe señalar que el pino azul es considerado como un pino que prefiere suelos someros y temperaturas no muy templadas (Farjón *et al.*, 1997).

En cuanto al crecimiento en la altura de los individuos pino piñonero hay un promedio de 41.87 ± 32.609 cm para el mes de Agosto, de 42.54 ± 31.482 cm en el mes de Septiembre y de 43.13 ± 31.775 cm en el mes de Octubre. Se puede apreciar que la desviación estándar es elevada, esto coincide con las diferentes edades que tienen los pinos con los que se trabajó, no obstante, el comportamiento en el crecimiento expuesto coincide con un promedio de aumento en la altura de 1.26 cm durante los tres meses en cuestión.

En cuanto al crecimiento de la cobertura se obtuvieron los siguientes promedios (calculados en cm²) para el mes de Agosto el crecimiento promedio fue de 772.83 ± 607.588 cm², en el mes de Septiembre de 776.18 ± 521.364 cm² y para el mes de Octubre el promedio obtenido fue de 778.31 ± 443.2143 cm², siendo el crecimiento promedio de la cobertura en tres meses de 5.48 cm² y en el caso particular de diámetro de los tallos, el promedio de las mediciones para cada mes fueron los siguientes; para el mes de Agosto resulto de 1.376 ± 0.6195 cm, en el mes de Septiembre de 1.382 ± 0.5613 cm y para el mes de Octubre de 1.39 ± 0.5361 cm (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores promedio ± desviación estándar del crecimiento en altura, cobertura y diámetro del tallo de *P. maximartinezii* obtenidos en tres meses de monitoreo.

<i>Mes</i>	<i>Altura en cm</i>	<i>Cobertura en cm²</i>	<i>Diámetro del tallo en cm</i>
<i>Agosto</i>	41.87 ± 32.609	772.83 ± 607.588	1.376 ± 0.6195
<i>Septiembre</i>	42.54 ± 31.486	776.18 ± 521.364	1.382 ± 0.5613
<i>Octubre</i>	43.13 ± 31.775	778.31 ± 443.2143	1.39 ± 0.5361

En estos resultados se puede observar que la desviación estándar disminuye, con la única excepción de la altura del mes de Septiembre al mes de Octubre, esto probablemente se encuentre relacionado con la velocidad de crecimiento más alta que se registra en las primeras fases del crecimiento vegetal (Azcón *et al.*, 2009). Es importante recordar que alrededor de un 35% de los individuos de pino utilizados en este trabajo se encontraban en etapa de crecimiento primario.

En la Figura 6 se describe el crecimiento constante en la altura de los individuos de *P. maximartinezii* la cual se logra apreciar a pesar de las condiciones en las que se encontraban los ejemplares, las cuales son muy diferentes a las que se reportan como su hábitat natural.

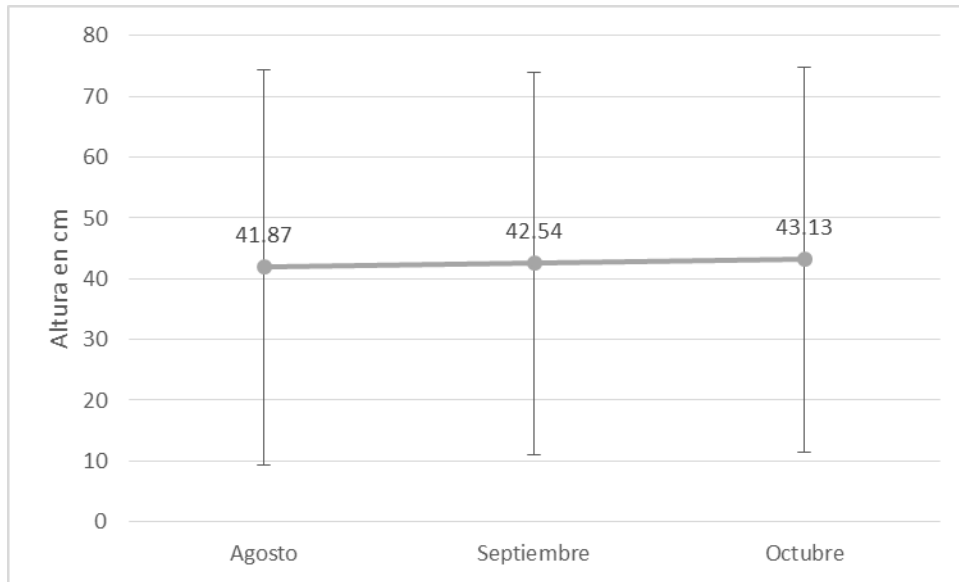


Figura 6. Altura promedio \pm desviación estándar (cm) en la evaluación del crecimiento de *P. maximartinezii*.

La Figura 7 refleja un aumento en los resultados de cobertura de los pinos, debido probablemente a las lluvias registradas en el mes de agosto, las cuales además del riego suministrado pudieron afectar en el crecimiento de los individuos ya que del mes de Agosto al mes de Septiembre se registró un crecimiento promedio de 3.35 cm² por los únicamente 2.13 cm² cm del mes de Septiembre al mes de Octubre.

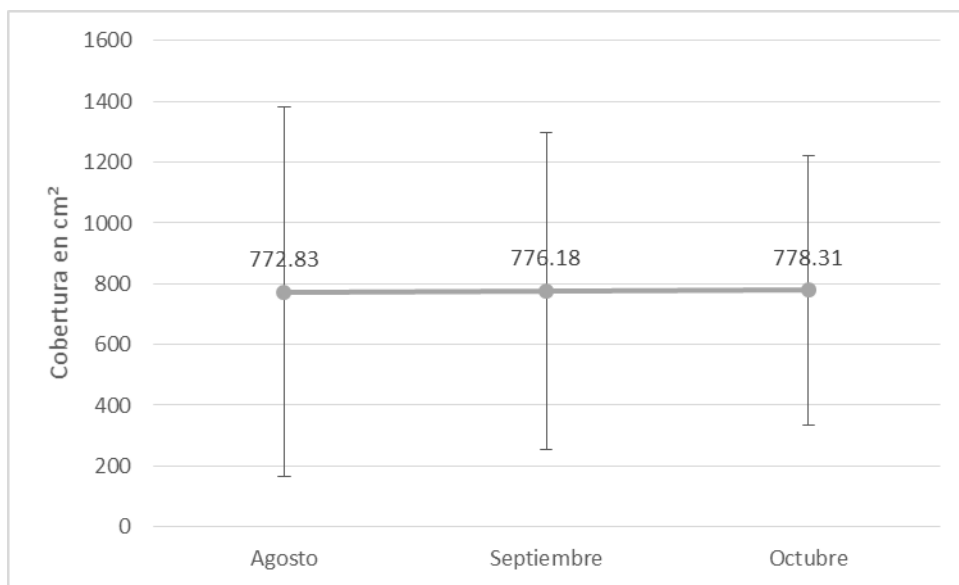


Figura 7. Valores promedio \pm desviación estándar en la cobertura (cm²) de los individuos de *P. maximartinezii*.

Por otro lado el diámetro del tallo en los individuos de *P. maximartinezii* también fue constante y se puede apreciar en la Figura 8 que éste también varió pero de manera inversa al que se registró para la cobertura, ya que del mes de agosto al mes de septiembre el crecimiento promedio fue de 0.006 cm mientras que del mes de septiembre al mes de octubre el crecimiento promedio fue superior en relación al registrado un mes antes, resultando de 0.008 cm.

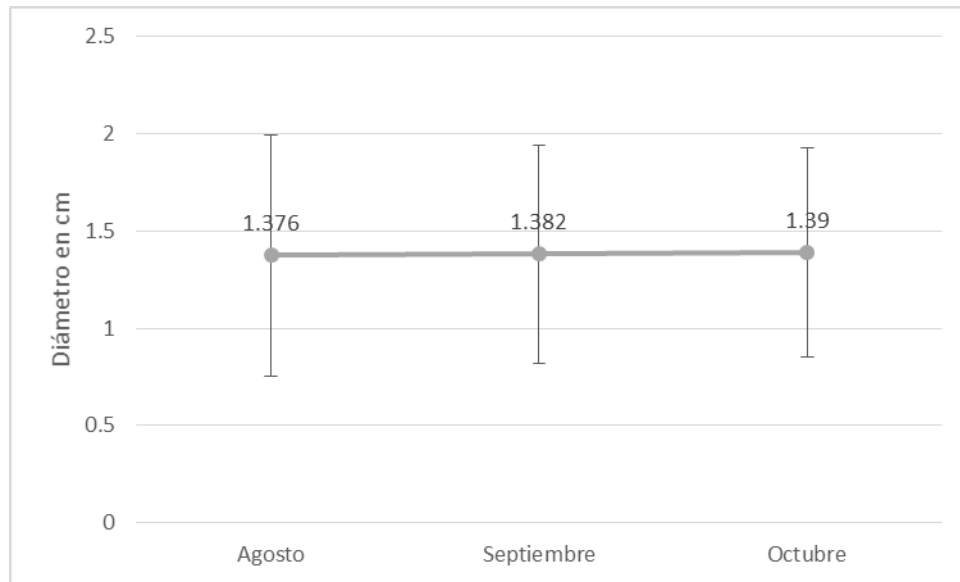


Figura 8. Valores promedio \pm desviación estándar en mediciones de los tallos de *P. maximartinezii*.

7.7. Evaluación del crecimiento de *Q. crassipes*

El crecimiento del total de individuos de *Q. crassipes* es semejante al de *P. maximartinezii*, sin embargo, los encinos mostraron un comportamiento descendente en cuanto a su cobertura vegetal en el transcurso del mes de Agosto al mes de Septiembre pasando de un promedio de $144.7 \pm 40.348 \text{ cm}^2$ (Agosto) a $140.3 \pm 30.653 \text{ cm}^2$ (Septiembre) este resultado coincide con el cambio de las bolsas de los ejemplares, ya que el trasplante de organismos es muy delicado y se pueden observar ligeras pérdidas foliares, no obstante en el transcurso al mes de Octubre se presentó un aumento en la cobertura llegando a los 141.2 cm^2 .

Cuadro 7. Valores promedio \pm desviación estándar en mediciones de altura, cobertura y diámetro (cm), obtenidas para *Q. crassipes* obtenidos en tres meses de monitoreo.

<i>Mes</i>	<i>Altura en cm</i>	<i>Cobertura en cm²</i>	<i>Diámetro del tallo en cm</i>
<i>Agosto</i>	23.78 \pm 5.592	144.7 \pm 40.348	0.5018 \pm 0.0559
<i>Septiembre</i>	24.26 \pm 4.781	140.3 \pm 30.653	0.502 \pm 0.0366
<i>Octubre</i>	24.53 \pm 4.365	141.2 \pm 29.833	0.5031 \pm 0.0165

En cuanto al comportamiento en el crecimiento de la altura, ésta reflejó un promedio de 23.78 \pm 5.592 cm para el mes de Agosto, 24.26 \pm 4.781 cm para Septiembre y 24.53 \pm 4.365 cm en el mes de Octubre y en el promedio de las mediciones obtenidas para el diámetro del tallo, el crecimiento también tuvo un comportamiento ascendente, arrojando resultados para el mes de Agosto de 0.5018 \pm 0.0559 cm, para el mes de Septiembre de 0.502 \pm 0.0366 cm y para el mes de Octubre de 0.5031 \pm 0.0165 cm. La desviación estándar que mostraron las mediciones de *Q. crassipes* resultaron menos amplias que para los pinos, destacando que las unidades experimentales de encinos fueron más homogéneas en edad y talla (Cuadro 7).

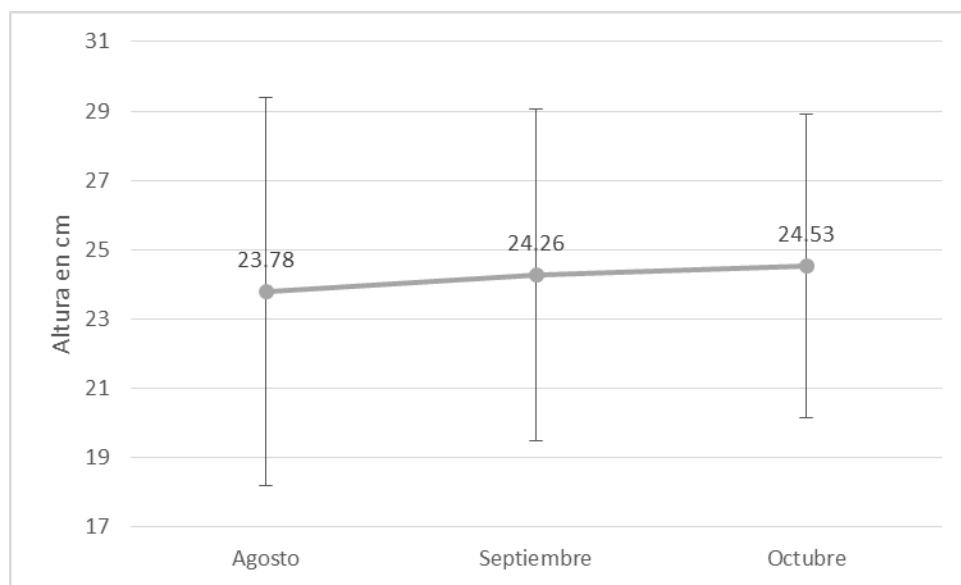


Figura 9. Valores promedio \pm desviación estándar de la altura (cm) mostrada por *Q. crassipes*.

El crecimiento en la altura que presentaron los encinos corresponde a un promedio de 0.75 cm para los tres meses en que se realizaron las mediciones, el comportamiento de este aumento se puede visualizar con detalle en la Figura 9. El comportamiento revelado para el crecimiento en la altura de los encinos, no mostró una relación con la pérdida de hojas que sufrieron durante los trasplantes realizados, ya que del mes de agosto al mes de septiembre el aumento fue de un promedio de 0.48 cm, mientras que del mes de septiembre al mes de octubre este promedio se vio reducido a 0.27 cm.

Por parte de las mediciones obtenidas en la cobertura vegetal se presentó una pérdida promedio de 4.4 cm², a pesar de ello, durante el periodo del mes de Septiembre al mes Octubre se pudo registrar una recuperación, ya que el crecimiento promedio que se calculó fue de 0.9 cm², este resultado en comparación con el registrado con el de los pinos resultó ser menor, esto presumiblemente a la pérdida foliar que padecieron los encinos durante su trasplante, a las condiciones ambientales y a la genética que poseen estas especies (Figura 10).

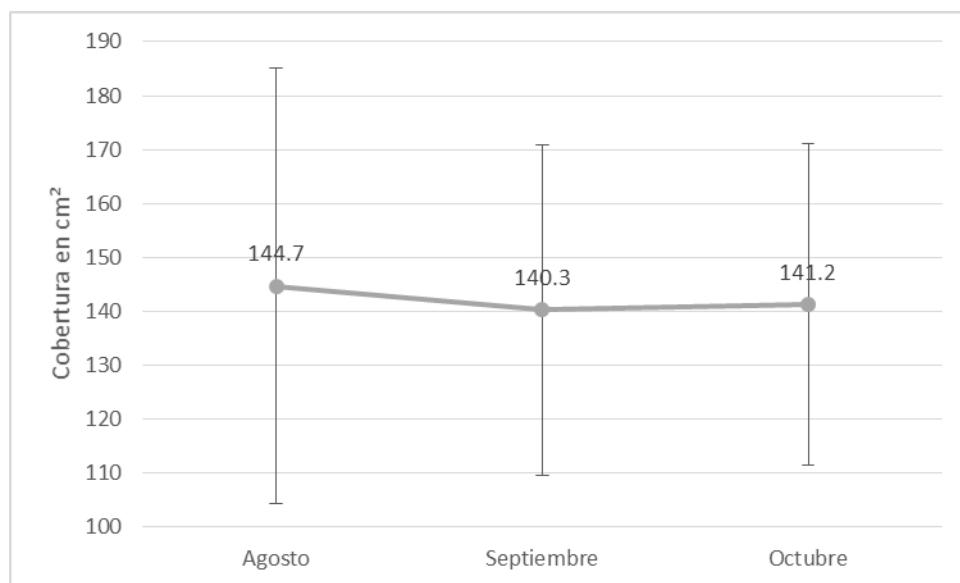


Figura 10. Valores promedio \pm desviación estándar en las mediciones de cobertura (cm²) de *Q. crassipes*.

En cuanto al crecimiento de los tallos de *Q. crassipes*, el promedio de las mediciones están expuestos en la Figura 11. Estas mediciones revelan un aumento promedio del mes de agosto al mes de septiembre de 0.0002 cm y del mes de septiembre al mes de octubre un promedio de 0.0011 con lo que se puede observar un incremento en la velocidad de crecimiento, este fenómeno puede ser explicado por el crecimiento compensatorio de especies vegetales. En 2001 Retuerto y Woodward observaron la capacidad de *Sinapsis alba* para compensar las pérdidas en el crecimiento derivadas de efectos inducidos por situaciones de estrés, lo que concuerda con los resultados obtenidos para *Q. crassipes* ya que este incremento en la velocidad de crecimiento se presentó tras ser liberadas del estrés mecánico que sufrieron durante el cambio de bolsas al que se les sometió.

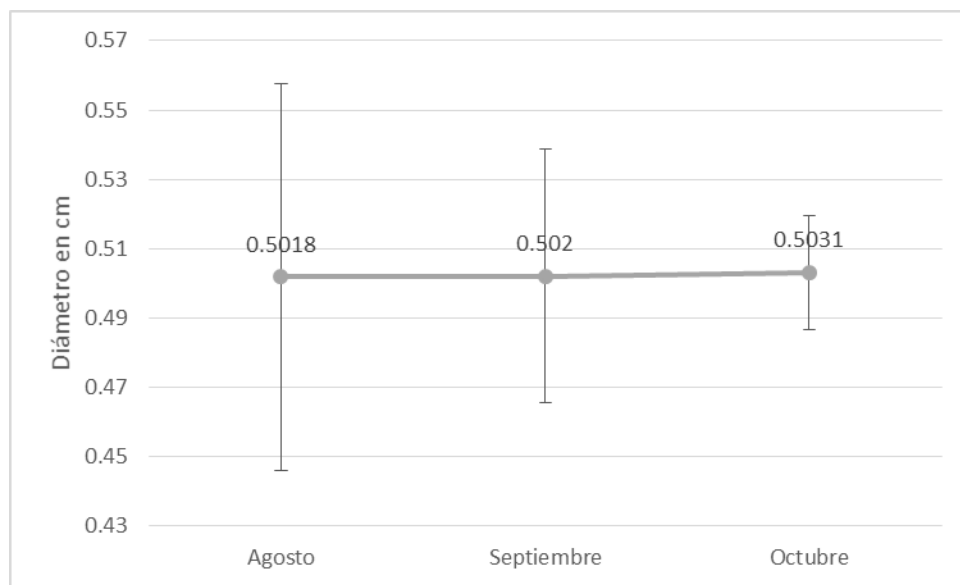


Figura 11. Valores promedio \pm desviación estándar en las mediciones del diámetro (cm) de *Q. crassipes*.

Estos resultados muestran solo una pequeña porción de la complicada biología de estas dos especies, por lo que sería recomendable hacer evaluaciones y análisis más profundos para la comprensión de estos comportamientos.

8. Conclusiones

Las altas concentraciones de Nitrógeno, Fósforo, Hierro, Cobre y Zinc presentes en el efluente pueden ser aprovechados para su aplicación en especies forestales.

El efluente analizado se encuentra dentro de los límites permisibles de calidad para metales pesados y coliformes fecales que establece la NOM-004 para uso forestal.

Según lo dispuesto en la NOM-004, los análisis de calidad efectuados al efluente líquido, lo clasifican como excelente clase C por lo que los lodos pueden ser utilizados como abonos orgánicos para producción forestal sin contacto público directo durante su aplicación.

La comparación con los fertilizantes comerciales demuestra que el efluente líquido tiene concentraciones muy bajas en relación a estos, con una relación aproximada de 39:1.

El efluente líquido muestra ventajas sobre los fertilizantes comerciales, como su alta disponibilidad al ser considerado un residuo y su amabilidad con el medio ambiente al no representar un peligro tóxico para especies forestales.

Pinus maximartinezii mostró un aumento constante en las tallas de su crecimiento de altura, cobertura y diámetro del tallo.

El crecimiento positivo mostrado por *Quercus crassipes* es constante y revela datos importantes asociados a aumentos en la velocidad de crecimiento luego de estímulos como el estrés mecánico.

9. Bibliografía

- Acosta, Y., Zárraga, A., Rodríguez, L., El Zauahre, M. 2012. Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. *Multiciencias*. Vol. 12. 4: 18-24 pp.
- Arcos, C. J. 2009. *Crecimiento de Quercus crassipes en diferentes mezclas de sustratos forestales*. Tesis para obtener el Título de Bióloga. UNAM. México. 20-25 pp.
- Arizaga, S., Martínez, C. J., Salcedo, C. M., Bello, G. M. A. 2009. *Manual de la Biodiversidad de encinos michoacanos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 42-45 pp.
- Audesirk, T., Audesirk, G., Byers, B. E. 2008. *Biología la vida en la tierra*. Ed. 8°. Pearson Prentice Hall. México. 590-598 pp.
- Azcón, B. J., Talón, M. 2009. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Ed. 2°. McGraw Hill. Barcelona, España. 57-101 pp.
- Cardona, A., Álvarez, A., Carral, P., Gutiérrez, A., Jiménez, B. R. 1996. Capacidades de amortiguamiento ácido de diversos suelos forestales del sistema central. *Ecología*. Vol. 5. 10: 63-69 pp.
- Casal, I., García, L. J. L., Guisán, J. M., Martínez, Z. J. M. 2000. *La Biotecnología aplicada a la agricultura*. Eumedia. SEBIOT. Madrid, España. 20-36 pp.
- Castrejón, C. A. M. 2002. *Evaluación de la calidad de lodos residuales de México*. Tesis para obtener el título de Bióloga. UNAM. México. 98 p.
- Challenger, A., Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres, en *Capital Natural de México*. Vol. I: *Conocimiento Act. Bio*. CONABIO, México. 87-108 pp.
- Chen, Y., Aviad, T. 1990. Effects of humic substances on plant growth. 161-186 pp. *In: Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*. Maccarthy, P., Clapp, C.E., Malcolm, R.L., Bloom, P.R. (eds.). *A. S. of Agronomy*, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- CNA. 2011. Estadísticas del Agua en México.
- Compagnoni, L., Potzolu, G. 2001. *Cría Moderna de las Lombrices y Utilización Rentable del Humus*. Editorial de Vecchi. Barcelona, España. 127 p.
- CONAGUA. 2013. *Manual de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizados en Japón*. SEMARNAT. México. 1-13 pp.

- Cordero, R. N. E. 2010. *Mejoramiento de suelo con biosólidos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UNAM*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería. Facultad de Ingeniería. UNAM. 9-11 pp.
- Del Val, F., Jiménez, A. 1993. *Reciclaje. Manual para la recuperación y el aprovechamiento de las basuras*. 2º Ed. Integral. Barcelona, España. 10-82 pp.
- Fassbender, H. 1982. *Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina*. IICA. San José, Costa Rica. 422 p.
- Fernández, E.R., Benloch, M, Barranco, D., Dueñas, A., Gutierrez, G.J. 1996. Response Olive trees to foliar application of humic substances extracted from leonardite. *S. Horticulturae*. Vol. 66: 1991-1998 pp.
- Flores, M. E. 2013. *Comportamiento germinativo y crecimiento en vivero de Pinus maximartinezii Rzedowski (Pinaceae)*. Tesis para obtener el título de Biólogo. UNAM. México. 80 p.
- González, E. M., González, E. M. S., Ruacho, G. L., Molina, O. M. 2011. *Pinus maximartinezii* Rzed. (Pinaceae), Primer registro para Durango, segunda localidad para la especie. *Act. Bot. Méx.*, Pátzcuaro, No. 96: 33-48 pp.
- Hernández, H. J. M., Olivares, S. E., Villanueva, F. I., Rodríguez, F. H., Vázquez, A. R., Pissani, Z. J. F. 2005. Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizante químico en el cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* Pers.) *Rev. Int. Contaminación Ambiental*. Vol. 21. 1: 31-36 pp.
- Hyde, F. W., Amacher, S. G., Magrath, W. 2001. Deforestación y aprovechamiento forestal. *Gaceta Eco*. N° 59. 0 p.
- Julca, O. A., Meneses, F. L., Blas, S. R., Bello, A. S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. Vol. 24. 1: 49-61 pp.
- Krishnamurthy, L., Ávila, M. 1999. *Agroforestería Básica*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México, D.F. 1-59 pp.
- Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. 2004. Título Primero. Capítulo Único, Artículo 5, Fracción XXIV.
- López, C. L. X. 2013. *Estudio Ecológico de los Bosques de Encino con Quercus urbanii Trel. y Quercus crassipes H & B. (Fagaceae) en dos Áreas Naturales Protegidas del Estado de México*. Tesis para obtener el título de Bióloga. UNAM. México. 7-185 pp.
- López, R. G. F. 2009. *Ecofisiología de árboles*. Universidad Autónoma Chapingo. Ed. 2º. Edo. de México. México. 293-391 pp.

- Mato, M., Olmedo, M., Méndez, J.** 1972. Inhibition of indoleacetic acid oxidase by soil humic acids fractionated in *Sephadex*. *Soil Biology and biochemistry* Vol. 4: 4: 469-473.
- Metcalf, Eddy.** 2002. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4° Ed. McGraw-Hill. 987-998 pp.
- Mollinedo, M., Ugalde, L., Alvarado, A., Verjans, J. M., Rudy, L. C.** 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*), en la zona oeste de la cuenca del canal de Panamá. *Agronomía Costarricense*. Vol. 29. 1: 67-75 pp.
- Navarro, P. J., Moral, H., Gómez, L., Mataix, B.** 1995. *Residuos orgánicos y agricultura*. Universidad de Alicante. España. 108 pp.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT 2002 Protección Ambiental.- Lodos y Biosólidos.-especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.**
- Parker, P.** 2000. *La Ciencia de las Plantas*. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 98-172 pp.
- Pineda, P.A., Castillo, G.A., Morales, C.J., Colinas, L.M., Valdez, A.L., Avitia, G.E.** 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de Nochebuena. *Rev. Chapingo Serie Horticultura*. Vol. 14. 2: 131-137 pp.
- Quinteiro R.M.P., Andrade C. M. L. y De Blas V. E.** 1998. Efecto de la adición de un lodo residual sobre las propiedades del suelo: experiencias de campo. *Dep. de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo*. Edafología No. 5. Universidad de Vigo, España. 110 pp.
- Retuerto, R., Woodward, F. I.** 2001. Compensatory responses in growth and fecundity traits of *Sinapsis alba* L. following release from wind and density stress. *Int. Journal of Plant Sciences*. Vol. 162. 1: 171-179 pp.
- Rodríguez, S. F.** 1982. *Fertilizantes - Nutrición Vegetal*. AGT Editor. México. 157 p.
- Romero, R. S., Rojas, Z. C., Aguilar, M. L.** 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Annals. Missouri Botanical Garden*. Vol. 89. 4: 551-593 pp.
- Rosete, V. F. A., Pérez, D. J. L., Villalobos, D. M., Navarro, S. E. N., Salinas, C. E., Remond, N. R.** 2014. El avance de la deforestación en México 1976-2007 *Madera y Bosques*. Vol. 20. 1: 21-35 pp.
- Salcedo, P. E., Vázquez, A. A., Krishnamurthy R. L., Zamora, N. F., Hernández, A. E., Rodríguez, M. R.** 2007. Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en

- suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. Asociación Interciencia. *Interciencia*. Vol. 32. 2: 115-120 pp.
- Salgado, G. S., Núñez, E. R. 2012. Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos. *Biblioteca Básica de Agricultura*. Jalisco, México.
- Sociedad Internacional de Arboricultura. 1999. *Manual de Arboricultura; Guía de estudio para la certificación del arborista*. Universidad Autónoma de México Azcapotzalco. México. 5.2-5.4 pp.
- Talancón, S. E. R. 2013. *Desarrollo del Plan de Aprovechamiento Comunitario de Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos para la producción de Composta en San Antón y Subida a Chalma, Municipio de Cuernavaca*. Tesis de para obtener el título de Maestra en Ciencias Biológicas. UNAM. México. 3-34 pp.
- Tang, T. J. 1993. Ethylene production in anaerobically incubated soils amendments with poultry litter. *Soil Science*. Vol. 156. 3: 186-192 pp.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. 1994. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Vol. I. McGraw-Hill. Madrid, España. 3-16 pp.
- Thompson, M. L., Troeh, R. F. 1988. *Los Suelos y su Fertilidad*. 4° Ed. Reverté. Barcelona, España. 265-298 pp.
- Thurman, E. 1981. Preparative Isolation of Aquatic Humic Substances. *Environ. Sci & Technol.*, Vol. 15. 4: 463-466 pp.
- Traina, S., Novak, J., Smeck, N. 1990. An Ultraviolet Absorbance Method of Estimating the Percent Aromatic Carbon Content of Humic Acids. *J. Environ. Qual.*, Vol. 19. 1: 151-153 pp.
- Trinidad, S. A., Aguilar, M. D. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, Vol. 17. 3: 247-255 pp.
- Vangestel, C. A. M. 1996. Phytotoxicity of some chloroanilines and chlorophenols in relation to bioavailability in soil. *Water. Air and Soil Pollution* Vol. 88. 1-2: 119-132 pp.
- Velarde, G. A. F. 1998. *Tratado de Arboricultura Frutal*. 4° Ed. Mundi-Prensa. Madrid España. 15-17 pp.
- Velázquez, A. J. F., Mas, J. R., Díaz, G. R., Mayorga, S. P. C., Alcántara, R. C., Fernández T., Bocco G., Ezcurra, E., Palacio, J. R. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*. Num. 62. 21-37 pp.

Wolf, B., Snyder, G. 2003. *Sustainable Soils. The Place of Organic Matter in Sustaining Soils and Their Productivity*. Food Products Press. Binghamton, New York, USA. 352 p.

10. Bibliografía En Línea

INAFED. 2014. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Zacatecas. Juchipila. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM32zacatecas/municipios/32023a.htm>
Consultado el 3/11/2014

INECOL. 2014. Residuos Sólidos Urbanos. Capítulo 4. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/495/residuos.html>
Consultado el 14/03/2014

INEGI. 2014. Vegetación, Bosque de coníferas y encinos. <http://www.cuentame.inegi.org.mx/territorio/vegetación/bc.aspx?tema=T>
Consultado el 23/05/2014