

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**"OPTIMIZACION DE RESIDUOS GENERADOS EN EL  
PROCESO DE DEPURACION DEL AGUA RESIDUAL POR  
APLICACION DE TRATAMIENTOS FISICOQUIMICOS  
PARA UTILIZARLOS COMO BIOSOLIDOS CON ESPECIES  
VEGETALES DE IMPORTANCIA AGRONOMICA Y  
ECOLOGICA EN EL ESTADO DE NUEVO LEON."**

**T E S I S**

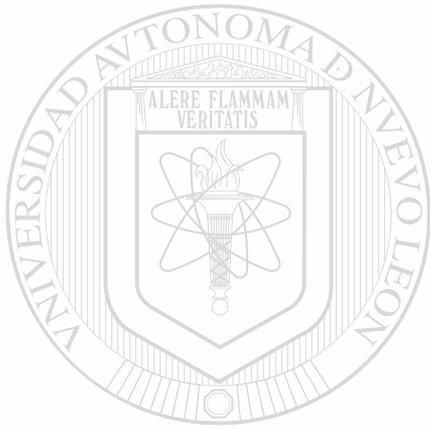
**Como requisito parcial para obtener el título de  
doctor con especialidad en: BIOTECNOLOGIA**

**PRESENTA**

**M. C. Edna Elisa Ponce Moreno**

**San Nicolás de los Garza, N. L.**

**Febrero del 2001**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

“OPTIMIZACIÓN DE RESIDUOS GENERADOS EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN DEL AGUA RESIDUAL POR APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS FÍSICOQUÍMICOS PARA UTILIZARLOS COMO BIOSÓLIDOS CON ESPECIES VEGETALES DE IMPORTANCIA AGRONÓMICA Y ECOLÓGICA EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN.”

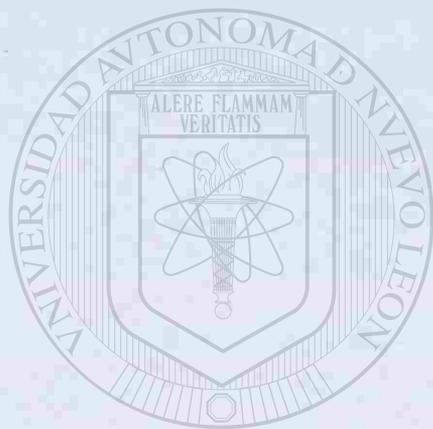
TD  
S657  
.P6  
2001  
c.1

2001

DR. EE. PONCE



1080124432



# UANL

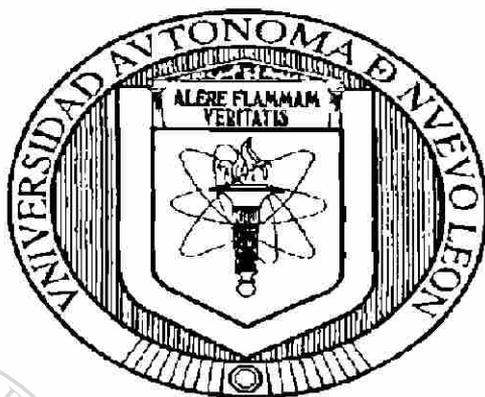
---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**“Optimización de residuos generados en el proceso de depuración del agua residual por aplicación de tratamientos fisicoquímicos para utilizarlos como biosólidos con especies vegetales de importancia agronómica y ecológica en el estado de Nuevo León.”**

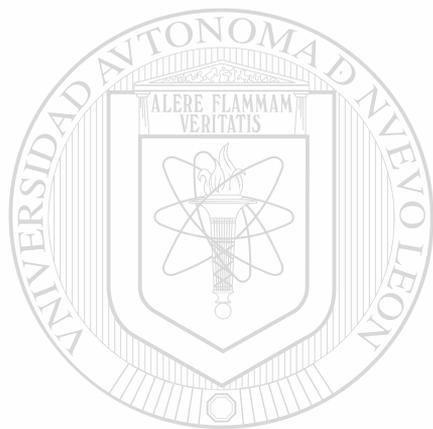
Tesis que presenta

M. C. Edna Elisa Ponce Moreno

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Como requisito parcial para obtener el título de doctor con especialidad en: BIOTECNOLOGIA

TD  
S657  
-P6  
2001



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

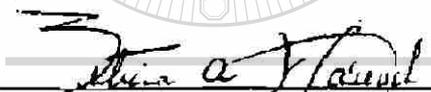
"Optimización de residuos generados en el proceso de depuración del agua residual por aplicación de tratamientos fisico-químicos para utilizarlos como biosólidos con especies vegetales de importancia agronómica y ecológica en el estado de Nuevo León"

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias con Especialidad en Biotecnología por:

**M. C. EDNA ELISA PONCE MORENO**

COMISION DE TESIS APROBADA



**Dra. Leticia A. Huard Marroquín**  
Directora de tesis

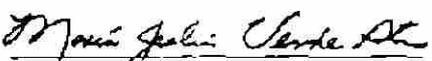


**Dr. Luis Jesús Galán Wong**  
Co-Director de tesis



**Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab**

Asesor



**Dra. María Julia Verde Star**  
Asesor



**Dr. José Santos García Alvarado**  
Asesor

San Nicolás de los Garza, N. L.

1 Febrero del 2001



**La presente investigación se realizó en:**

**Facultad de Ciencias Biológicas U.A.N.L.**

**Laboratorio de Manejo Integral de Recurso Vegetales**

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Leticia A. Háuad Marroquín, por su valiosa participación y apoyo incondicional para la realización de ésta tesis, que ha influido de manera incansable en la realización de éste trabajo de investigación, así mismo reciba mi agradecimiento por permitirme incorporarme dentro del grupo de investigadores que participan en el proyecto.

Al Dr. Rahim Foroughbakhch P., Por apoyarme en la realización de esta tarea y brindarme la oportunidad de trabajar con usted y aprender de su experiencia y conocimientos la capacidad de superar los logros.

A los integrantes de la comisión de tesis: Dr. Luis J. Galán Wong, Dra. Ma. Julia Verde Star y Dr. José Santos García Alvarado, por sus revisiones y sugerencias en dicha investigación, aportando sus conocimientos en dicha labor.

A la TQL Aleida Castañeda Díaz, por su ayuda y apoyo en la realización del trabajo y además de su amistad y apoyo cuando las cosas se complicaban.

Al QBP. Rosalio Hernández Guevara, IIA. Claudia Lorena Ponce M. y Humberto Rolando Ponce M., con quienes siempre conté acompañandome los sabados, domingos y días festivos en la realización de las pruebas prácticas del invernadero, así como en la búsqueda de información literaria.

A mis compañeros de laboratorio: Mayra Ruíz, Fernando Arcivar y Enoch Céspedes, quienes me proporcionaron su ayuda en todo momento durante mi estancia en el laboratorio, compartiendo y aprendiendo juntos de en área de la ciencia.

**AGRADECIMIENTO ESPECIAL:**

**Al Sistema Regional de Investigación Alfonso Reyes convenio 970406001**

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) convenio 26695-B**

**Al Programa de Apoyo (PAICYT) de la U. A. N. L.**

**Por su apoyo financiero para la realización de éste trabajo bajo la dirección de :**

---

**Dra. Leticia A. Háuad Marroquín,**

**Facultad de Ciencias Biológicas**

**U. A. N. L.**

**DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS**

**y**

**A Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey por proporcionarnos el biosólido.**

**AGRADECIMIENTO ESPECIAL:**

**Al Sistema Regional de Investigación Alfonso Reyes convenio 970406001**

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) convenio 26695-B**

**Al Programa de Apoyo (PAICYT) de la U. A. N. L.**

**Por su apoyo financiero para la realización de éste trabajo bajo la dirección de :**

---

**Dra. Leticia A. Háud Marroquín,**

**Facultad de Ciencias Biológicas**

**U. A. N. L.**

**DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS**

**y**

**A Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey por proporcionarnos el biosólido.**

## **DEDICATORIA**

**A Dios, por darme la oportunidad de lograr la culminación de esta tarea.**

**A mi Bebé, Diego Alejandro, razón más importante de mi vida y a quien le dedico todos mis logros.**

**A mi Esposo, Rosalio Hernández Guevara, que siempre me apoyo en esta etapa de conocimientos y me brindó su total e incondicional apoyo desde el momento en que apareció en mi vida.**

**Te amo.....**

**A mis Padres, Sra. Elena Ma. C. Moreno Mauricio y al Sr. Humberto R. Ponce Sepulveda, quienes han sido siempre pilar y nunca escatimaron esfuerzos, dedicándome siempre su tiempo y experiencia. Los quiero mucho .....**

**A mis Hermanos, Claudia Lorena y Humberto Rolando Ponce Moreno, quienes durante el transcurso de mi vida siempre hemos estado juntos y ayudándonos unos a otros y con quienes he compartido los momentos más felices. Nunca nos separaremos.....**

**A mis Tíos, Arturo Ponce, Guillermina Ponce, Carlos Frías y Ma. del Carmen Moreno, quienes desde mi niñez me han acompañado y ayudado a superarme tanto en mi vida personal como profesional. Gracias.....**

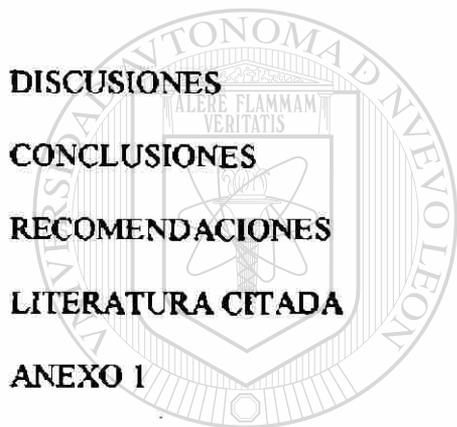
**A mis mejores amigos: M. C. Juany Reyna, M. C. Isaias Balderas, quienes con su apoyo lograron impulsar esta superación profesional, brindándome su confianza y no permitiéndome que me diera por vencida. Se los agradezco.....**

## INDICE

	Páginas
LISTA DE ABREVIATURAS	iv
LISTA DE NORMAS Y MÉTODOS	vi
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE FOTOGRAFÍAS	ix
LISTA DE GRÁFICAS	ix
RESUMEN	1
ABSTRAC	2
INTRODUCCIÓN	3
IMPORTANCIA	5
ORIGINALIDAD Y JUSTIFICACION	7
HIPÓTESIS	9
OBJETIVO PRINCIPAL	9
OBJETIVOS PARTICULARES	9
ANTECEDENTES	
1. Reseña histórica	11
2. Mecanismos de recuperación de zonas contaminadas	12
3. Compuestos que pueden ser degradados microbiológicamente	14
4. Situación en N.L.	15
5. Efectos de la aplicación de biosólidos	16
6. Metales y minerales	17
7. Efecto del pH	19
8. Compuestos tóxicos	20
9. Beneficios que proporcionan los lodos	23
MATERIALES Y MÉTODOS	
1.- Obtención del biosólido.	25
2.-Secado del biosólido.	25
3.- Determinación de humedad.	25
4.- Caracterización del biosólido :	
a) Análisis CRETIB,	26
b) Pruebas de fertilidad,	26
c) Presencia de macro y microelementos,	26
d) Análisis microbiológicos.	26
5.-Caracterización del suelo agrícola.	27
a) Cartas control del suelo,	27

b) Pruebas de fertilidad,	27
c) Presencia de macro y microelementos,	27
d) Análisis microbiológicos.	27
6.-Selección de especies vegetales.	27
7 - Pruebas de germinación.	29
8 - Mezclas de Suelo – Biosólido.	31
9.-Tratamiento aplicados a mezclas:	31
a) Hidrólisis ácida,	31
b) Hidrólisis alcalina,	31
c) Reducción de materia orgánica.	32
10.- Análisis a mezclas.	33
11.- Siembra de especies.	33
12.- Desarrollo de las especies.	34
13.- Análisis finales.	34
a) Mezclas Suelo – Biosólido.	34
b) Análisis de especies vegetales producidas.	35
14.- Evaluación estadística.	35
<b>RESULTADOS</b>	
1.- Contenido de humedad y caracterización del biosólido.	37
a) CRETIB.	38
b) Pruebas de fertilidad.	39
c) Presencia de micro y macroelementos.	40
d) Análisis microbiológicos.	40
2.-Caracterización de suelo agrícola.	41
a) Cartas control de suelo.	41
b) Pruebas de fertilidad.	42
c) Micro y macroelementos en suelo.	43
d) Análisis microbiológicos.	43
3.- Comportamiento de especies vegetales en biosólidos.	44
4.-Análisis correspondientes a pruebas microbiológicas y químicas.	45
5.- Pruebas de reducción de materia orgánica.	46
6.- Desarrollo de especies.	47

<b>7.- Análisis finales de mezclas y especies vegetales.</b>	
a) Mezclas suelo – biosólido.	51
b) Parámetros fisicoquímicos.	51
b.1 Conductividad.	54
b.2 Potencial de hidrógeno	55
c) Determinación de metales.	55
d) Características generales de las mezclas biosólido – suelo final.	55
<b>8.- Análisis a las especies vegetales.</b>	
a) Crecimiento.	
b) Producción.	58
c) Metales.	58
d) Micro y macroelementos.	62
	63
<b>DISCUSIONES</b>	70
<b>CONCLUSIONES</b>	84
<b>RECOMENDACIONES</b>	86
<b>LITERATURA CITADA</b>	87
<b>ANEXO 1</b>	96



**UANL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

%	Por ciento
µmhos	Micromhos
°C	Grados Centigrados
AA	Análisis de Aguas
Al	Aluminio
As	Arsénico
Ca	Calcio
CB	Cloro benceno
Cd	Cadmio
CIC	Capacidad de Intercambio Cationico
cm	Centimetro
Cond	Conductividad
Cr	Cromo
CRETIB	Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico infeccioso.
Cu	Cobre
CH <sub>4</sub>	Metano
d	Día
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DCB	1,4-Dicloro benceno
DCE	Dicloro etileno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
E.U.A.	Estados Unidos de America
ECOL	Ecología
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América
g	Gramo
h	Hora
H	Humedad
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
HCB	Hexacloro benceno
HCl	Ácido clorhídrico
Hg	Mercurio
Kg	Kilogramo
Lps	Litros por segundo
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
m	Metro
Mg	Magnesio
mg/k	Miligramo por kilogramo
mg/l	Miligramos por litro

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

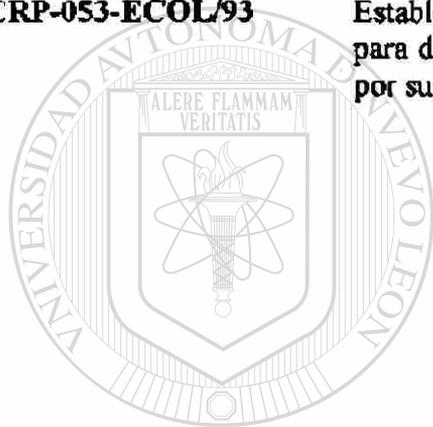
<b>min</b>	Mínuto
<b>ml</b>	Militro
<b>mm</b>	Milimetro
<b>MO</b>	Materia orgánica
<b>Mty</b>	Monterrey
<b>N</b>	Normalidad
<b>N. L.</b>	Nuevo León
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrógeno
<b>Na<sub>2</sub>HSO<sub>3</sub></b>	Bisulfito de sodio
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sodio
<b>Ni</b>	Niquel
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>NMP</b>	Número Más Probable
<b>NMX</b>	Normas Mexicanas
<b>NOM</b>	Normas Oficiales Mexicanas
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>P</b>	Fósforo
<b>Pb</b>	Plomo
<b>PCB</b>	Policlorobenceno
<b>PCE</b>	Pentacloro etileno
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>PTAR</b>	Planta Tratadora de Agua Residual
<b>s</b>	Segundo
<b>SADM</b>	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey
<b>sp</b>	Especie
<b>ST</b>	Sólidos Totales
<b>TCE</b>	Tetracloro etileno
<b>Temp</b>	Temperatura
<b>UFC</b>	Unidad Formadora de Colonias
<b>UPC</b>	Unidad platino cobalto
<b>UTN</b>	Unidad turbidez nefelométrica
<b>VC</b>	Cloruro de vinilo
<b>Zn</b>	Zinc

## LISTA DE NORMAS Y METODOS

<b>PHA-AWWA-WPCF-1992</b>	Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.
<b>PA 200.7</b>	Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometric method for trace element analysis of water and waste.
<b>Método de Olsen</b>	Determinación de fósforo total.
<b>MX-AA-016-1984</b>	Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales. Determinación de Humedad.
<b>MX-AA-021-1985</b>	Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales. Determinación de Materia Orgánica.
<b>MX-AA-024-1984</b>	Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales. Determinación de Nitrógeno Total.
<b>MX-AA-025-1984</b>	Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales. Determinación de Potencial de Hidrógeno método Potenciométrico.
<b>MX-AA-036-1980</b>	Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales. Determinación de Alcalinidad.
<b>MX-AA-042-1987</b>	Calidad de agua determinación de Número Más Probable (NMP) coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y <i>Escherichia coli</i> presuntiva.
<b>MX-AA-093-1984</b>	Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales. Determinación de Conductividad Eléctrica.
<b>MX-AA-100-1987</b>	Protección al ambiente. Determinación de Cloro Libre Residual.
<b>COM-AA-008-1980</b>	Protección al ambiente. Determinación de Potencial de Hidrógeno.
<b>COM-AA-020-1981</b>	Protección al ambiente. Determinación de Sólidos.
<b>COM-AA-038-1981</b>	Protección al ambiente. Determinación de Turbiedad.
<b>COM-AA-045-1981</b>	Protección al ambiente. Determinación de Color escala Platino-Cobalto.
<b>COM-AA-050-1980</b>	Protección al ambiente. Determinación de Fenol.

## LISTA DE NORMAS Y METODOS

- NOM-AA-072-1984** Protección al ambiente. Determinación de Dureza.
- NOM-AA-073-1981** Protección al ambiente. Determinación de Cloruros.
- NOM-AA-074-1981** Protección al ambiente. Determinación de Sulfatos.
- NOM-CRP-052-ECOL/93** Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
- NOM-CRP-053-ECOL/93** Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## LISTADO DE TABLAS

No.	Descripción	página
1	Concentración típica de los metales de los biosólidos y valores máximos permitidos por las Normas Oficiales Mexicanas.	18
2	Diferentes concentraciones de metales y parámetros del suelo.	22
3	Especies vegetales características de las zonas áridas.	29
4	Análisis microbiológicos del agua potable.	30
5	Características fisicoquímicas del agua potable.	30
6	Características del agua destilada empleada.	32
7	Análisis microbiológicos realizados a diferentes proporciones de mezclas.	33
8	Análisis fisicoquímicos realizados a las mezclas de suelo-biosólido.	33
9	Análisis CRETIB practicados al biosólido de acuerdo a la norma NOM-052 ECOL.	37
10	Análisis de fertilidad practicados al biosólido.	39
11	Presencia de micro y macroelementos contenidos en el biosólido.	40
12	Análisis microbiológicos practicados al residuo.	40
13	Pruebas de fertilidad practicadas al suelo.	42
14	Contenido de macro y microelementos contenidos en el suelo.	42
15	Determinación de metales en suelo agrícola.	43
16	Análisis microbiológicos practicados al suelo proveniente del campo.	43
17	Ensayos de germinación realizados a especies de cultivo básico.	44
18	Especies arbustivas de zonas áridas candidatas a ser utilizadas en los ensayos con los biosólidos.	44
19	Análisis microbiológicos correspondientes a las mezclas biosólido – suelo al inicio del estudio.	46
20	Determinación de pH realizada a las mezclas después de haber sido realizados los tratamientos	46
21	Pruebas que muestran el efecto de la adición del bisulfito de sodio a diferentes tratamientos y pH.	47
22	Tasa de sobrevivencia de las especies de cultivo básico bajo el efecto de la concentración del biosólido.	48
23	Tasa de sobrevivencia de las especies de zonas áridas bajo el efecto de la concentración del biosólido.	49
24	Ecuaciones de regresión obtenidas de la relación tiempo y altura en las especies de cultivo básico.	50
25	Ecuaciones de regresión obtenidas de los factores tiempo y altura de las especies arbustivas.	51
26	Análisis microbiológicos realizados a las mezclas biosólido – suelo en las especies vegetales probadas.	52

27	Análisis microbiológicos realizados a las mezclas biosólido – suelo aplicado a diferentes tratamientos.	53
28	Valores de conductividad obtenidos en las mezclas realizadas y tratadas para observar su efecto en las diferentes especies.	54
29	Resultados de potencial de hidrógeno obtenido de las mezclas al final del experimento, después de haber sido desarrolladas las diferentes especies.	56
30	Metales encontrados en suelo donde se desarrollaron especies de cultivo básico.	57
31	Análisis generales aplicados a suelo donde se emplearon especies de cultivo básico.	57
32	Efecto de los diferentes tratamientos en diversas concentraciones de biosólido relacionandolas con el testigo en las especies vegetales probadas.	59
33	Biomasa (g) obtenida de las especies cultivadas en diferentes concentraciones de biosólido, bajo la aplicación de diversos tratamientos.	60
34	Biomasa (g) de las especies vegetales obtenidas en diferentes concentraciones de biosólidos después de varios tratamientos.	61
35	Metales encontrados en plantas en la muestra de suelo.	62
36	Metales encontrados en diferentes proporciones de biosólido de especies arbustivas.	63
37	Micro y macroelementos encontrados en plantas en la muestra de suelo.	64
38	Macro y microelementos en especies de zonas áridas en diferentes proporciones de biosólido.	65

### LISTA DE FIGURAS

No.	Descripción	página
1	Distribución de la unión del metal disuelto en un sistema de suelo-agua tal y como se desarrolla en la superficie del suelo.	18
2	Diagrama de flujo del procedimiento de metodología.	24

### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS LISTA DE FOTOGRAFÍAS

No.	Descripción	página
1	Espiga obtenida de la especie sorgo sugar sweet al término del estudio.	66
2	Espiga producida por la especie sorgo DK-780 a los 3 meses.	66
3	Plantas de maíz obtenidas en las mezclas con biosólido.	67
4	Plantas de la <i>L. leucocephala</i> obtenidas a las 8 semanas en el mejor tratamiento	67
5	Especie de <i>P. pallens</i> obtenidas de las muestras en diferentes proporciones de biosólido.	68
6	Plantas de <i>P. ebano</i> a las 8 semanas.	68
7	Plantas de especies de zonas áridas que presentan el efecto de clorosis.	69
8	Biosólido seco y almacenado en bolsas	69

## RESUMEN

Las plantas tratadoras utilizan tratamientos, físicos y químicos dentro del proceso de depuración, generando residuos que de acuerdo a su origen poseen elementos nutritivos y tóxicos. Con el fin de incorporarlos a un proceso productivo se sometieron a diferentes tratamientos (secado, hidrólisis ácidas, alcalinas, etc.) para estabilizarlos y emplearlos como mejoradores de suelo en prácticas agrícolas. Determinamos la eficiencia y eficacia de los diferentes tratamientos de las Plantas Tratadoras de Aguas Residuales (PTAR), analizando sus componentes, parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, obteniendo un material fitomejorador con alto contenido en micronutrientes con valores de nitrógeno de 7,0 ppm, fósforo 4 260,0 ppm y potasio 4 352,0 de los metales indispensables para el mejoramiento de plantas se registraron manganeso con 0,823 ppm y zinc de 0,089 ppm. Se determinaron crecimiento y productividad de 6 especies vegetales: Sorgo forrajero (*sugar swett*), Sorgo en grano (DK-780), Maíz (hualauises), *Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium ebano* y *Pithecellobium pallens*. Los residuos tratados se utilizaron como mejorador y restaurador de suelos poniendo en evidencia que el tratamiento alcalino resulto más efectivo para el desarrollo de las especies vegetales, los resultados nos permitieron establecer tratamientos físicos y químicos que permiten la utilización de éstos residuos que por Norma ecológica -052 y NOM-053 deben confinarse, ofreciendo una alternativa adecuada, permitiendo su incorporación en suelos degradados con productividad y crecimiento de especies vegetales en zonas áridas.

## ABSTRACT

Water treatment plants utilize physical-chemical processes during the purification process generating residues which depending on their origin could contain toxic and nutrient materials. With the aim of incorporating these materials in agricultural practices, they were subjected to different treatments (drying, hydrolysis, acid, alkaline, etc.) to stabilize and then employed as an enhancement material in agricultural soils. We determined the efficiency and efficacy of different material in WTP ( Water Treatments Plants ) analyzing their components, their physicochemical and bacteriological parameters obtaining a plant enhanced material with high contents of micronutrients such as nitrogen 7 ppm, phosphorus 4 260,0 ppm and potassium 4 352,0 ppm and essential heavy metals such as magnanesium 0,823 ppm and zinc 0,089 ppm. Growth and yield of six species: forrage sorgum (sugar swett), grain sorgum (DK-780), Maize (hualauises), *Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium ebano* y *Pithecellobium pallens*, were determined. The treated residues were used as an enhacement soil material, demonstrating that treatment with alkaline substance resulted in more effective for growth of the plant species. These results allowed us to conduct physichemical treatments allowing utilization of those residues that are confined, according to the Official Norms: Norma Ecologica -052 and NOM-053. Thus, their incorporation into degraded soils, provided better growth and yield of the plant species studied in arid regions.

## INTRODUCCION

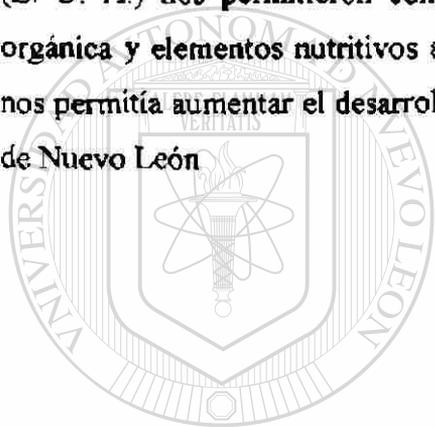
El creciente desarrollo industrial, así como el de la población mundial han incrementado el número y la cantidad de contaminantes en el medio ambiente. La preocupación por resolver estos problemas es evidente ya que producen deterioro en los ecosistemas ocasionando efectos desastrosos e irreversibles trastornos en el medio ambiente ya percibidos por nosotros como: elevación de temperatura, cambios en los ciclos hidrológicos, ausencia de lluvia, deterioro general en el medio ambiente .

Hoy en día, los diferentes tratamientos aplicados al agua residual nos permiten conseguir agua de cualquier calidad por lo tanto; la reutilización del agua residual debe ocupar un lugar y desempeñar un papel importante en la planificación del aprovechamiento óptimo del recurso.

Existen en Nuevo León varias Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), las tres plantas conjuntas tienen una capacidad de 8.000 lps. La planta Dulces Nombres diseñada por Burns & McDonnell que es la más grande y se encuentra localizada en el municipio de Pesquería la cual opera con una capacidad de 5.000 lps y tiene una capacidad total hasta 10.000 lps la cual abastece cerca de 1.800.000 habitantes, esta planta esta diseñada para tratar agua residual industrial y municipal, se considera de ejemplo del esfuerzo para modernización y consolidación del tratamiento de aguas residuales. La planta Norte, está ubicada en el municipio de Escobedo que trabaja con una capacidad de 2.500 lps., y con una capacidad de crecimiento máxima de 6.000 lps., beneficiando a 860.000 habitantes; la Planta Noroeste, se encuentra ubicada en el municipio de Apodaca, labora con un tratamiento de 500 lps. y una capacidad hasta 4.000 lps. esta planta fue diseñada para cumplir con los requisitos de eliminación de contaminación carbonatada (DBO<sub>5</sub> y DQO) así como nitrificación y desnitrificación del efluente, cabe mencionar que nunca se había alcanzado en México este nivel de tratamiento de aguas para plantas de esta magnitud, beneficiando así a 240.000 habitantes. (Aguazul, 1995, Teorema, 1996, Céspedes, 1998)

Con respecto a la normatividad del agua y lodos el Departamento de Ecología ha establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL/1993, donde se establecen los métodos que deben de operar los laboratorios para analizar este tipo de residuos y determinando su peligrosidad. De acuerdo a esta norma ecológica existe una restricción para utilizar actualmente estos residuos generados en el proceso de depuración del agua residual por lo que debe de disponerse en confinamiento.

Ante esta situación y buscando una solución a la gestión de estos residuos nos propusimos aplicar diferentes tratamientos físicos y químicos que nos permitieran disminuir los parámetros de peligrosidad descritos en la norma. Estudios realizados en Canadá y Estados Unidos de América (E. U. A.) nos permitieron contemplar esta solución con la finalidad de incorporar materia orgánica y elementos nutritivos a suelos degradados, observando que la adición de éste material nos permitía aumentar el desarrollo y productividad de especies vegetales propias de zonas áridas de Nuevo León



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

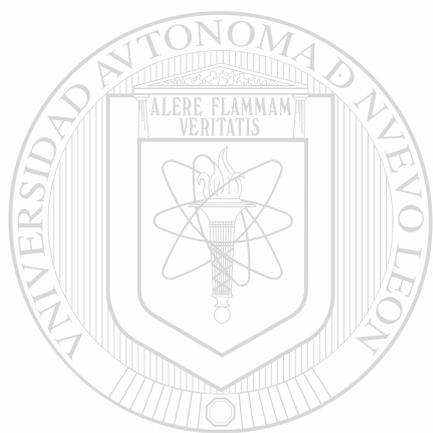
## IMPORTANCIA

Los diferentes procesos productivos generan un gran número de residuos que varían en su naturaleza y calidad, los cuales pueden ser sólidos o líquidos. La fracción líquida (aguas residuales), proviene del agua que es utilizada por la comunidad una vez que ha sido modificada su composición durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. El tratamiento de ésta se realiza mediante el uso de "Lodos activados" dando buenos resultados y obteniendo una agua de buena calidad, sin embargo, el residuo de lodo de desecho no es utilizado, se ha trabajado poco con ello y en México no se tienen estudios al respecto es por ello que se pretende estudiar este producto de desecho e incorporarlo en un diseño integral ambiental, enfocado particularmente en la agricultura como una fuente de materia orgánica muy importante en la economía del país, cabe destacar que las condiciones climáticas extremas prevalecientes en las zonas áridas donde la precipitación es escasa y las temperaturas muy elevadas pudiesen verse beneficiadas con esta incorporación a siendo estos estudios prioritarios en el ámbito de investigación y desarrollo.

El tratamiento aplicado en el proceso de depuración del agua residual, es así mismo el motivo de generación de una gran cantidad de residuos. En Nuevo León dicho proceso aplicado en 3 plantas es responsable de una producción diaria de 611 toneladas. Estas presentan una capacidad total de 8 000,0 litros/s ( $d^3/s$ ), en donde se aplican tratamientos a base de "lodos activados" o procesos biológicos. Las plantas cuya gestión y manejo comprende servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), funciona diariamente con ciertas variantes, además de un sistema de aireación continua, aireación extendida a contracorriente y otra muy moderna aireación con oxígeno puro, esta última ejemplo de la alta tecnología para América Latina.

Dadas las condiciones climáticas extremas prevalecientes en la zona árida y semiárida donde se ubica Monterrey, nos enfocamos particularmente hacia el manejo de residuos generados en las PTAR, tratando de buscar una solución alterna al problema del agua, generación de residuos con un manejo integral que nos permitiese la aplicación de estos residuos después de asegurar su no peligrosidad a través de la aplicación de tratamientos físicos y químicos, con un incremento de

materia orgánica, incorporación de microelementos nutritivos indispensables para el desarrollo de las plantas en incremento de su productividad y restablecimiento de suelos degradados a través de un manejo integral de los recursos naturales y del medio ambiente.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## ORIGINALIDAD Y JUSTIFICACION

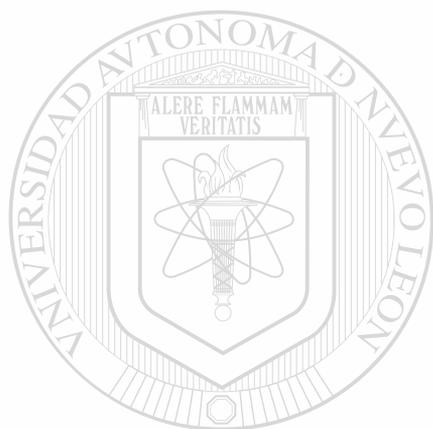
Debido a que en Monterrey existe un número considerable de industrias las cuales requieren en su mayoría de cantidades considerables de agua en algunos procesos, aunado a que Nuevo León prevalecen condiciones climáticas de zonas áridas y semiáridas con temperaturas promedio superior a los 35 °C y una escasa precipitación, cuyo valor promedio fluctúa entre 600 a 800 mm/ año (INEGI, 1997), por lo que se hace necesaria la recuperación del agua para sus diferentes usos principalmente doméstico e industrial.

Como una perspectiva a las difíciles condiciones climáticas prevalecientes en la zona de Nuevo León, se hizo necesario el establecimiento de PTAR que restablecieran la calidad del agua antes de ser vertidas a los cuerpos receptores, a través de la disminución de parámetros indicadores de la contaminación del agua. Un número importante de industrias posee de manera particular su propia planta con el fin de abastecer sus recursos; Además el estado cuenta con 3 PTAR las cuales se encuentran bajo la dirección de SDAM, y presentan diferentes capacidades para el tratamiento de agua y se han establecido en Monterrey :

- 1.- Norte
- 2.- Noreste
- 3.- Dulces Nombres.

El proceso es un sistema biológico con algunas variantes respecto a la forma de administración del oxígeno, el tratamiento es a base de lodos activados y en todas ellas al final generan grandes cantidades de residuos que de acuerdo a las Normas Ecológica caen dentro de la definición de "Residuos Peligrosos". Actualmente se generan aproximadamente 611 toneladas al día que deben ser confinadas. El tratamiento de estos residuos posee elementos nutritivos, así como otros elementos un tanto limitante como son los metales pesados, lo que restringe su uso y aplicación inmediata a suelos.

La importancia y originalidad del estudio reside en la aplicación de tratamientos físicos y químicos, la reducción de materia orgánica y el número de microorganismos presentes, asegurando así su no peligrosidad y que se nos permitan su utilización como mejoradores de suelo.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## **HIPOTESIS**

Es posible la aplicación de tratamientos físicos y químicos a residuos de PTAR para favorecer su estabilización lo que permite utilizarlo como biosólidos con características tales como mejoradores de suelo a fin de hacerlos más efectivos en las prácticas agrícolas.

## **OBJETIVOS PRINCIPAL**

Profundizar en el conocimiento de residuos generados en el proceso de depuración del agua residual, aplicando de tratamientos físicos y químicos que permitan la incorporación de estos residuos a suelos degradados, asegurando su no-peligrosidad, aportando materia orgánica y elementos nutritivos necesarios para la productividad y desarrollo de especies vegetales de zonas áridas de Nuevo León.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1.-Determinar la situación actual en términos de: 1.-productividad, 2.-conservación y 3.- gestión de residuos generados en Nuevo León, en el proceso de depuración del agua residual. ®

2.-Caracterizar y determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos activados generados en el proceso de depuración.

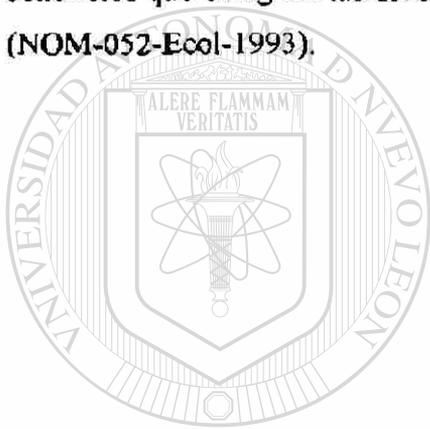
3.- Analizar y correlacionar la naturaleza de estos residuos generados en los diferentes tratamientos de estabilización aplicados en el proceso.

4.-Aplicación e incorporación de materia orgánica y elementos nutritivos presentes en los residuos bajo diferentes concentraciones de suelo, en ensayos bajo condiciones controladas y de invernadero.

5.-Determinar el patrón de respuesta de las especies leguminosas y cultivos forrajeros a través de la productividad y desarrollo de las especies (tiempo de crecimiento, número de hojas, tamaño, etc.).

6.- Establecer a través de un diseño estadístico la base de datos que nos permitan correlacionar los parámetros de los residuos aplicados con los patrones de comportamiento de las especies vegetales.

7.- Elaborar un plan de uso y manejo de lodos estabilizados para extender a la comunidad los beneficios que otorguen las diversas propiedades de acuerdo a la Normas Ecologicas establecidas (NOM-052-Ecol-1993).



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## ANTECEDENTES

### 1. RESEÑA HISTÓRICA

Actualmente y como consecuencia de la necesidad de hacer frente a una demanda creciente de la población, se han desarrollado varios proyectos para la recuperación de aguas residuales, sin embargo existen muy poca información sobre la incorporación de lodos estabilizados, la mayoría de los trabajos se han realizado en E.U.A. y entre los más sobresalientes se pueden mencionar los siguientes:

En 1926, en el Grand Canyon National Park de Arizona, se utilizó por primera vez el agua residual en el sistema de abastecimiento doble para su uso de lavabos, sistemas de aspersión de espacios verdes y como agua de refrigeración y calefacción, sin utilizar el residuo generado por ello. Tres años después, en 1929 la ciudad de Pomona, California, puso en marcha un proyecto en el que se utilizaba el agua residual recuperada para el riego de espacios verdes (Ongerth, 1982). En 1932, en San Francisco se construyó una planta de tratamiento convencional en las proximidades del Golden Gate Park, y la reutilización del efluente continuó hasta 1985. En 1942, la Bethlehem Steel Company, utilizaba más de 400.000 m<sup>3</sup> / d de efluente secundario para el enfriamiento de metales primarios y para el procesado de aceros, utilizando el efluente clorado de la planta de Baltimore, Maryland. La falta de fuente de suministro, es la razón que induce a la mayoría de las industrias a implantar planes de reutilización de agua (Metcalf & Eddy, 1996). En 1960, en Colorado Springs, se implantó un sistema de abastecimiento doble que, en la actualidad suministra agua para el riego de campos de golf, parques, cementerios y espacios verdes. En 1962, en Whitier Narrows Condado de Los Angeles, California, se abordó el primer proyecto de gran alcance de recarga de acuíferos con agua residual.

Después de la evaluación detallada de los datos sobre el efecto de la salud pública correspondiente a un período de 20 años, los investigadores llegaron a la conclusión de que las operaciones de recarga no producían ningún impacto negativo apreciable sobre el agua subterránea de la zona, ni sobre la población que la consumía (Metcalf & Eddy, 1996).

Sin el único estudio a nivel nacional disponible sobre los proyectos de recuperación y reutilización de efluentes en 1975, en los Estados Unidos ya existían 536 proyectos de reutilización del agua en las áreas de riego total para la agricultura, espacios verdes y otros no definidos, en la industria, en los procesos, refrigeración, calderas, recarga de acuíferos subterráneos, espacios lúdicos, etc. (Culp y Wesner, 1979). Como componente esencial del programa de reducción de contaminación del agua de la ciudad de Saint Petersburg (1975), se desarrolló un plan urbano de reutilización de aguas residuales (Water reuse, 1989).

La reutilización de agua no potable para el riego de cultivos, parques y campos de golf, se ha convertido en una práctica habitual en los planes de reutilización de aguas residuales municipales, debido a razones de seguridad y salud pública (Crook y Okun, 1987). Sin embargo, en los casos en los que no existe posibilidad de aumentar los recursos, algunas comunidades están desarrollando planes de reutilización de agua residuales para su abastecimiento (Lauer, Roger y Ray, 1985; Linsted y Rithenberg, 1982 y Odendaal y Hattingh, 1988). La cantidad de agua residual que interviene en estos planes de reutilización de agua potable es muy pequeña, pero los elementos tecnológicos y de salud pública asociados son de gran importancia.

## **2. MECANISMOS DE RECUPERACIÓN DE ZONAS CONTAMINADAS**

- a) Tratamientos Biológicos,
- b) Tratamientos No Biológicos,
- c) Combinación de ambos.

Los tratamientos biológicos se caracterizan por la aplicación de microorganismos, en las plantas tratadoras de aguas residuales se emplean digestores de biogas, tecnología de digestión anaerobia y los aspectos de gestión que dan lugar a una operación más eficaz en las plantas de aguas residuales. Los primeros estudios recomendaban el uso de grava como medio de soporte en un filtro percolador, donde los residuos tóxicos eran retenidos posibilitando su degradación por microorganismos autóctonos, para hacer más eficaz su tratamiento. Sin embargo por

consideraciones de tiempo, le siguió el desarrollo de digestores anaerobios y finalmente los digestores aerobios.

La digestión aerobia, supone la adición de aire a la mezcla de digestión, la cual de ésta manera estimula el crecimiento y capacidad oxidativa de los microorganismos, el procedimiento de degradación se completa en un tiempo finito y el sistema de almacenamiento no presenta límite. (Mizrhahi, A., 1989).

Los tratamientos no biológicos incluyen:

- 1.- El almacenamiento a largo plazo,
- 2.- Los vertederos,
- 3.- La incineración,
- 4.- El arrastre por aire.

Los dos primeros métodos, son aplicables siempre y cuando no se manipule material tóxico, ya que solo implica conseguir un lugar razonable. El costo se complica con la separación de residuos y el transporte de los residuos peligrosos. En la actualidad la situación llega a ser problemática debido al rechazo del público respecto al desarrollo de las instalaciones de almacenamiento a largo plazo.

El tratamiento de incineración, consume energía y puede llevar a la producción de otros materiales tóxicos como las dioxinas, que requieren una costosa depuración antes de poder salir a la atmósfera.

Y por último, el arrastre por aire provoca la emisión al ambiente de pequeñas cantidades de compuestos tóxicos y de acuerdo al método utilizado, puede implicar la necesidad de transferencia de los materiales tóxicos al carbón activado, que a su vez requeriría de otro tratamiento posterior.

En muchos de los casos es preferible la combinación de tratamientos biológicos con fisico-químicos por consideraciones económicas. Aunque el biotratamiento comercial a logrado muchos

beneficios en lugares como Europa y Estados Unidos (Bluestone, 1986; Savage, 1987; Stone, 1984; Stopps, 1988) estos métodos no pueden implementarse en México, como los más adecuados, por lo que empresas como Dow Chemical (Bourquin, 1990; Timmis K., F. Rojo y R. J. Ramos, 1988) continúan con las investigaciones que consisten en la aplicación de cepas modificadas.

Bhamidimarri en 1995, reporta que más de 98 % de lixiviado de vertedero contienen una carga diaria de 1,6 Kg de derivados fenólicos y 0,5 Kg de fenoles, los cuales se degradan mediante un método semicontinuo empleando una mezcla de poblaciones de microorganismos del suelo, ello en E. U.A.

### 3. COMPUESTOS DEGRADADOS MICROBIOLÓGICAMENTE

Indudablemente los microorganismos pueden degradar multitudes de compuestos bajo distintas condiciones, una gran mayoría de compuestos sintéticos se modifican mediante el uso de las bacterias, hongos o algunas poblaciones microbianas que trabajan en asociación (Alexander, M., 1991; Romero, 2000).

Muchos productos químicos xenobióticos, son resistentes al ataque microbiano y/o son tóxicos para los microorganismos, sin embargo, en zonas contaminadas se han encontrado algunos microbios que pueden degradar muchos de estos compuestos con diversa facilidad y velocidad, esto se ha observado sobre todo con Policlorobenceno (PCBs) (Abromowicz, 1989)

Entre las moléculas que se han podido biodegradar se encuentran: cloruro de etileno (Pierce, 1982) PCBs (Abromowicz, 1989; Mondello, 1989; Bopp, 1986), gasolina y otros derivados del petróleo (Atlas, 1991; Hoeppe, Hinchee, Pritchard, 1991), compuestos con 2 y 3 grupos nitro, incluyendo herbicidas nitrogenados (Suffita and N., 1998; Spanggard et al 1991) y nitrotolueno (T. Fernando et al 1990), hidrocarburos policlorados como: pentaclorofenol (Mahaffey, 1991; McCormick, 1985; Morgan and Watkinson, 1989), tetracloroetileno (PCE), TCE, dicloroetileno (DCE), y cloruro de vinilo (VC) (Elittle et al 1988, Nelson et al 1987;

Uchiyama et al, 1999; Vogel and McCarty, 1985; Wilson, 1985); tetracloroetano (Distephano, et al 1991), creosota (Muller, et al 1991) y fluoranteno (Kelley, 1991; Mueller et al, 1989).

Entre los organismos más estudiados se encuentra: la *Pseudomona* G4 (Nelson et al 1990), LB400, *Clostridium* (Galli, 1989), *Azotobacter* sp (Wallnoeter, 1998), *Nocardia*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium* (Bluestone, 1986; Olsen, 1991) y asociaciones de bacterias (Dolfing, 1987; Genthner, 1989; Kröckel, 1987).

#### 4. SITUACIÓN DE NUEVO LEÓN

El creciente desarrollo industrial, así como el de la población mundial han incrementado el número y la cantidad de contaminantes en el medio ambiente. La preocupación por resolver estos problemas es evidente ya que producen deterioro en los ecosistemas ocasionando efectos desastrosos e irreversibles trastornos en el medio ambiente ya percibidos por nosotros: elevación de temperatura, cambios en los ciclos hidrológicos, ausencia de lluvia, deterioro general en el medio ambiente.

Hoy en día, existen procesos de tratamientos de agua residual contrastados que nos permiten obtener agua de calidad variable por lo tanto; la reutilización del agua residual debe ocupar un lugar y desempeñar un papel importante en la planificación y el aprovechamiento óptimo del recurso.

Existen en Nuevo León varias Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), las tres plantas conjuntas tienen una capacidad de 8.000 lps. La planta Dulces Nombres diseñada por Burns & McDonnell que es la más grande y se encuentra localizada en el municipio de Pesquería la cual opera con una capacidad de 5.000 lps y tiene una capacidad total hasta 10.000 lps la cual abastece cerca de 1.800.000 habitantes, esta planta ha sido diseñada para tratar agua residual industrial y municipal, se considera un ejemplo del esfuerzo para modernización y consolidación del tratamiento de aguas residuales. La planta Norte, está ubicada en el municipio de Escobedo que trabaja con una capacidad de 2.500 lps., y con una capacidad de crecimiento máxima de 6.000 lps., beneficiando a 860 000 habitantes; la Planta Noreste, se encuentra ubicada en el municipio de

Apodaca, labora con un tratamiento de 500 lps. y una capacidad hasta 4.000 lps. ésta planta fue diseñada para cumplir con los requisitos de eliminación de contaminación carbonatada (DBO<sub>5</sub> y DQO) así como nitrificación y denitrificación del efluente, cabe mencionar que nunca se había alcanzado en México este nivel de tratamiento de aguas para plantas de tal magnitud, beneficiando así a 240.000 habitantes. (Aguazul, 1995, Teorema, 1996)

Con respecto a la normatividad del agua y lodos el Departamento de Ecología ha establecido la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL/1993, donde se establecen los métodos que deben de operar los laboratorios para analizar este tipo de residuos y determinar su peligrosidad; pero el tratamiento a los lodos no se encuentra especificado y por lo cual actualmente se confinan, contrario a Estados Unidos donde son utilizados como mejoradores de suelo y relleno e incluso representan un valor agregado ya que se comercializan como comuestos o biosólido.

La cantidad de residuos procedente de las PTAR generados en Nuevo León es de 611 toneladas /diarias y casi en su totalidad son confinados ya que no tienen ninguna aplicación y solo representan un costo extra al tratamiento de depuración del agua.

## **5. EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDOS.**

1. Un incremento total en el contenido de nitrógeno, fósforo y carbono.
2. Un aumento en la capacidad de intercambio catiónico. La materia orgánica aplicada con el biosólido incrementa el número de sitios disponibles para la absorción de nutrientes y metales pesados.
3. Una disminución en el pH; inicialmente cuando el biosólido es aplicado al suelo, el valor del pH de la capa del mismo puede ser cambiado por el valor de pH del biosólido. Por ejemplo, cuando el nitrógeno contenido en el biosólido empieza a sufrir la nitrificación bacteriana, el valor del pH de la capa del suelo tratado puede decaer tanto como los protones son liberados

en la nitrificación. Por otro lado, también la degradación de la materia orgánica en el biosólido puede contribuir a la disminución del pH, debido a la naturaleza ácida de varios productos de descomposición.

## 6. METALES Y MINERALES PRESENTES EN BIOSÓLIDOS

En los últimos años en los Estados Unidos de America (E. U. A.) se han reconocido los beneficios y ventajas de los sistemas de reutilización, por ejemplo, en California State W.C. se especifica claramente “ Considerando que los lodos presentan elementos como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), además de otros minerales tales como azufre (S), boro (B), calcio (Ca), cobre (Cu), hierro (Fe), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y zinc (Zn) esenciales para las especies vegetales ya que son indispensables para el crecimiento de las mismas, se pretende la incorporación a los suelos”, aunque esto no es un concepto nuevo, ya que se han aplicado por largos periodos en países como Canadá, Estados Unidos y Europa. Resultando así, una práctica relativamente de bajo costo; además la aplicación representa la oportunidad de reciclar o utilizar un material considerado de desecho, más no debe tomarse como un método de disposición final, ya que ocasionaría discrepancias entre la población al considerar la aplicación como un método indeseable (Borchardt, J. A., 1981)

En la actualidad existen diferentes dispositivos de deshidratación que se utilizan para el secado de lodos, basados en su mayoría en la evaporación y percolación naturales, así como también el empleo medios mecánicos, como: la filtración, el prensado, la acción capilar, la extracción por vacío y la separación y compactación por centrifugación. El sistema dependera del tipo de biosólido. (Metcalf & Eddy, 1996).

Dowdy y Larson (1975), determinaron en plántulas de barley utilizando lodos digeridos anaeróticamente un bajo contenido de metales, excepto cromo, a pH de (5,9 y 7,9), que la absorción total de Zn, Pb, Ni y Cr fue más grande en los suelos ácidos que en los alcalinos, con excepción del Cu y que no se encuentran disponibles para la planta.

A continuación se muestra la siguiente tabla 1 que incluye la concentración típica de los metales de los biosólidos y los valores máximos permitidos por las normas oficiales mexicanas.

Tabla 1. Concentración típica de los metales de los biosólidos y valores máximos permitidos por las Normas Oficiales Mexicanas.

Elemento	Símbolo Químico	Concentración (mg/kg peso seco)	Valor máximo permitido (mg/kg peso seco)
Arsénico	As	3-30	5,0
Cadmio	Cd	<1-3410	1,0
Cromo	Cr	8-40600	5,0
Cobre	Cu	50-8000	----
Mercurio	Hg	0,1-55	0,2
Níquel	Ni	6-5300	5,0
Plomo	Pb	29-3600	5,0
Zinc	Zn	91-4900	----

Figura 1. Distribución de la unión del metal disuelto en un sistema suelo – agua tal y como ocurre en la superficie del suelo.



Numerosos estudios han demostrado que un incremento en la concentración total de los metales pesados como el zinc no causa mayores problemas de toxicidad en el hombre y animales,

niveles altos en el biosólido aplicado al suelo, resultarán casi invariablemente en un incremento significativo en la concentración del mismo en la cosecha (CAST, 1976).

## 7. EFECTOS DEL pH

El efecto del pH en el suelo, es de suma importancia ya que de ello depende la absorción de metales pesados, en general, la absorción se incrementa cuando aumenta el pH. Esto es, a menor valor de pH, la mayoría de los metales pueden ser encontrados en solución, ya que a valores de 4,5 a 6,5 se produce metano y otros gases a valores neutros de 6,5 – 7,5 se consumen ácidos grasos y compuestos orgánicos y a pH superior a 7, algunos metales tienden a formar complejos hidroxilo, los cuales incrementarían la solubilidad del metal (Larson, 1975).

Por su parte Cunningham 1975, después de numerosos estudios concluyó que, como la mayoría de los metales, la absorción del níquel se ve increíblemente aumentada cuando el pH se encuentra por debajo de 6,5. Por el contrario, si el pH se mantiene en 6,5 en el sitio de aplicación del lodo residual, el níquel (Ni) no puede causar toxicidad para las plantas o plantear una amenaza para el suministro alimenticio.

Además, los lodos residuales contienen diferentes tipos de microorganismos, los cuales participan activamente en la degradación de materia orgánica. Son los responsables de valores de pH de 6,0 a 5,1, debido a que utilizan los sólidos disueltos, como los azúcares, de los cuales forman gases así como ácidos en su mayoría orgánicos, luego otros microorganismos son favorecidos por estas condiciones incrementando un valor cercano a 7,0. Posteriormente, las bacterias nitrificantes se desarrollan e incrementan el pH hasta 7,5 produciendo metano en su mayoría y otros gases. Cabe señalar, que este punto es importante ya que el metano es combustible. (Larson, 1975)

## 8. COMPUESTOS TOXICOS

Otros constituyentes de los lodos son los hidrocarburos aromáticos polinucleares, compuestos fenólicos, bifenilos polihalogenados, ftalatos y otros. Por otra parte, también se presentan los materiales orgánicos que abundan en el lodo crudo, los cuales no son biodegradables (OMOE/OMAF, 1981).

Se conocen pocos estudios realizados sobre la incorporación de estos constituyentes en el suelo. Estudios en Ontario Canadá, indican que no hay evidencia de absorción de hidrocarburos aromáticos en cultivos donde solo se incrementa ligeramente la concentración en suelo (Webber, 1984).

La Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA), identifica una lista de contaminantes, donde prioritariamente existen 114. Éstos entran en el sistema de alcantarillado de fuentes domésticas o industriales y puede acumularse en los biosólidos. Estos compuestos orgánicos son potencialmente peligrosos para el hombre y los animales, por una o más de las siguientes razones:

Los PCB's en las aguas residuales son concentrados en el lodo durante el tratamiento (Shannon *et. al.*, 1976). La aplicación al suelo de algunos biosólidos en Ontario ha causado un pequeño, pero significativo incremento en los contenidos de PCB's que reciben los suelos; sin embargo, no hay evidencia de que sean absorbidos por los cultivos (Webber *et. al.*, 1983). Los PCBs son absorbidos a través del intestino en humanos y animales; en estudios animales se ha demostrado que son mutagénicos, teratogénicos y carcinogénicos (Health and Welfare Canada, 1980).

Wang, Mcgrath y Jones (1995), evaluaron el contenido de Clorobenceno (CB) en suelos agrícolas, los cuales habían recibido 25 aplicaciones de lodo residual entre 1942 y 1961, provocando con esto, un incremento de CB en el suelo en comparación con las parcelas control. Sin embargo, la mayoría de los CB's desaparecieron rápidamente después de las aplicaciones, mientras que cerca del 10% de los CB totales permanecieron recalcitrantes en el suelo por largo tiempo, sin embargo el Hexaclorobenceno (HCB) y el 1,4-diclorobenceno (DCB) donde se

incrementó remarcablemente tanto en el suelo tratado, como en el control durante los años 60's; debido a posibles fuentes como: niveles traza de impurezas en pesticidas y/o depósitos atmosféricos. (Wang, M-J; S. P.,Mcgrath; K.C., Jones. 1995.)

Tomando en cuenta que el proceso de estabilización de lodos y su posterior almacenamiento es costoso, actualmente se hacen estudios para reducir los costos y dar un aprovechamiento a este residuo como mejorador de suelo, ya que se ha observado en otras investigaciones que su incorporación al suelo actuando como un fitomejorador y promueve el desarrollo de especies vegetales.

Sin embargo, es concerniente expresar que los animales que ingieren cantidades significativas de pastura que crece en suelos mejorados con biosólidos, pueden resultar con alguna toxicidad por metales como el plomo, aunque aún no existe evidencia de un deterioro en la salud debido a los efectos de los biosólidos en ensayos de alimentación con ganado vacuno (Kienholtz,1980).

El coeficiente de transferencia de un metal pesado es definido como la relación de la concentración del metal en una planta para la concentración del metal en el suelo. Estos números reflejan la disponibilidad de un metal específico en un sistema planta-suelo dado.

Las regulaciones con respecto a las concentraciones totales de los metales presentes en los biosólidos no toman en cuenta las propiedades del suelo que esta siendo tratado.

Los principales metales pesados que conciernen a la salud del hombre son el cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), aunque el de mayor importancia con respecto a la aplicación de biosólidos al suelo, es el cadmio, debido a que es un elemento no esencial en el hombre, el cual es altamente tóxico para plantas y animales. Se conoce que las acumulaciones de Cd en el hígado y riñones en humanos y animales, pueden causar daño en los túbulos renales después de una exposición crónica. Los posibles riesgos para el hombre de los niveles de Cd en las plantas, son causados por la toxicidad de ellas mismas; debido a que el Cd no es fitotóxico en las concentraciones encontradas en plantas (Webber,1984).

La siguiente tabla muestra coeficientes de transferencia, concentraciones de suelos que son considerados críticos para el crecimiento de plantas y consumo animal.

Tabla 2. Diferentes concentraciones de metales y parámetros del suelo.

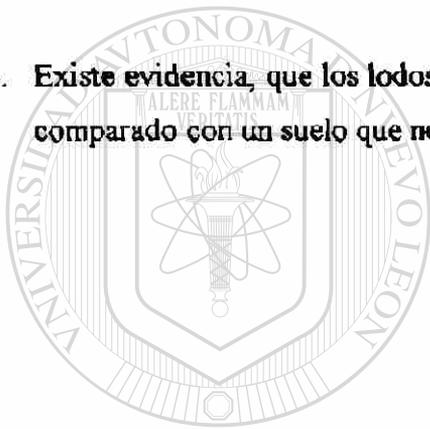
Elemento	Concentración de metales considerados críticos para el crecimiento de la planta, la salud del hombre y los animales. (mg/kg)	USEPA máxima concentración de metales en suelos agrícolas (mg/kg)	Nivel de Tolerancia sugerido en las plantas (mg/kg)	Coefficiente de transferencia
As	20	32	-	0,01 - 0,1
Cd	8	20	3	1 - 10
Cr	75	1540	-	0,01 - 0,1
Cu	100	775	150	0,1 - 1
Hg	5	9	-	0,01 - 0,1
Ni	100	230	50	0,1 - 1
Pb	200	20	-	0,01 - 0,1
Zn	400	1500	300	1 - 10

Sin embargo, se pueden tomar medidas para disminuir la disponibilidad de los metales pesados en suelos tratados con biosólidos. Los metales pesados contenidos en las plantas son fuertemente influenciados por el pH y el tratamiento del biosólido.

Así que, incrementando el pH de los suelos mejorados con biosólidos o dando un tratamiento con calor se puede reducir la absorción de metales por la planta. El manipular el pH del suelo, es el método más efectivo y rápido de controlar la disponibilidad de los metales pesados en un suelo con biosólidos. También limitando el suelo a un valor de pH de 6,5 – 7,0 se puede reducir la fracción móvil de la mayoría de los metales pesados en el suelo. <http://weber.u.washington.edu/~robh/Courses/ESC311/1997/Birgitte/fig.390b.gif>. 1997).

## **9. BENEFICIOS APORTADOS POR LA APLICACIÓN DE LODOS EN SUELO:**

1. Es un producto de desecho, reciclable.
2. Los nutrientes que proporciona son considerables y al ser adicionados al suelo son gradualmente liberados conforme la materia orgánica es consumida.
3. La ventaja de la materia orgánica es, que mejora algunas propiedades incrementando su habilidad para retener el agua y los nutrientes.
4. Existe evidencia, que los lodos influyen en el crecimiento de la planta que esta se incrementa, comparado con un suelo que no ha recibido el biosólido.



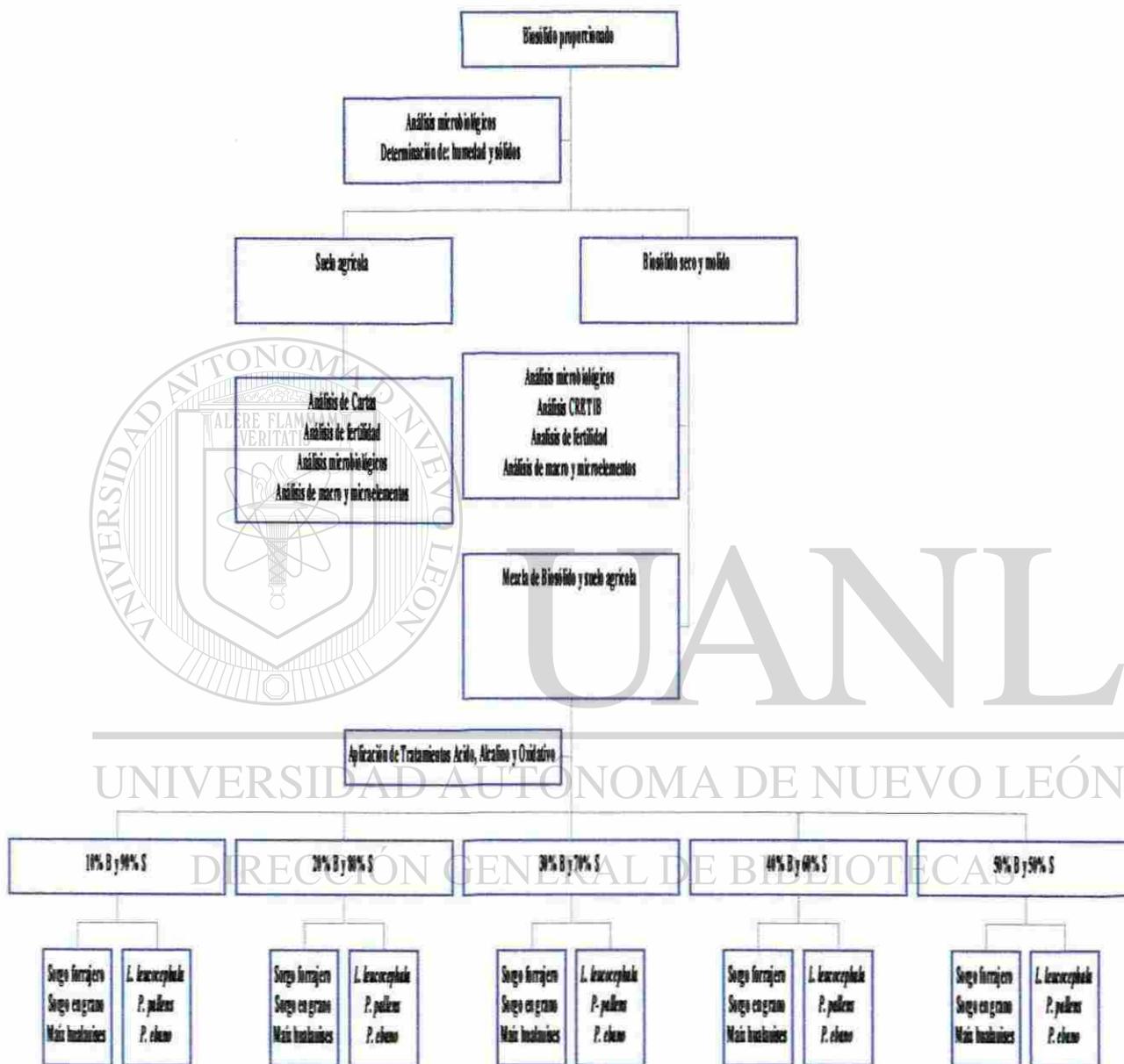
# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### Diagrama de flujo de la Metodología



Determinación de parámetros de crecimiento: altura y biomasa.

## MATERIAL Y METODO

### 1. OBTENCION DEL BIOSÓLIDO

El biosólido estudiado fue adquirido los días 7 de Septiembre y 3 de Noviembre de 1998 correspondiendo a una cantidad aproximada de 600 Kg de lodos digeridos deshidratados (cada remesa constaba de 300 kg de lodo), producto del tratamiento de aguas residuales de la Planta Noreste de Nuevo León, el cual fue facilitado y concedido por S. A. D.M.

### 2. SECADO DEL BIOSÓLIDO

El material inicial de 600Kg de la PTAR se sometió a secado sobre mesas cuyas dimensiones eran 80cm x 1,20m, las cuales se encontraban cubiertas con una geomembrana, el lodo fue secado físicamente, el residuo fue removido varias veces fuese necesario sobre la geomembrana hasta su completo secado, terminado dicho proceso se procedió a pesar utilizando una balanza granataria {Marca Nuevo León} las muestras pesadas fueron almacenadas en bolsas de papel kraft de 10 Kg c/u, una vez realizado esto se procede a moler, empleando un molino pulverizador marca PULVEX 200, con un tamiz de 1 mm de diámetro, posteriormente el material molido y seco se conservó en bolsas hasta su uso.

### 3. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Se determinó el porcentaje de humedad (NMX-AA-16-1984), empleando los pesos húmedo y seco del biosólido y de acuerdo a la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso húmedo (g)} - \text{peso seco (g)}}{\text{peso húmedo}} \times 100$$

#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL BIOSÓLIDO

Dicha caracterización consta de cuatro puntos:

- 4.1.-Análisis CRETIB.
- 4.2.-Pruebas de fertilidad.
- 4.3.-Presencia de macro y microelementos.
- 4.4.-Análisis microbiológicos.

Para determinar su no peligrosidad y posible utilización como mejorador de suelo se le somete a pruebas de Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico infeccioso (CRETIB) conforme a las normas NOM-CRP-052-ECOL/93 y la NOM-CRP-053-ECOL/93.

Así mismo, se le realizaron pruebas de fertilidad las cuales nos muestra si el biosólido puede ser considerado como mejorador de suelo y que incluyen: a) materia orgánica (NMX-AA-21-1985), b) potencial de hidrógeno (NMX-AA-25-19884), c) nitrógeno (NMX-AA-24-1984), d) conductividad eléctrica (NMX-93-1981); e) fósforo (método de Olsen), f) potasio (EPA 200.7 empleando espectroscopia de emisión de plasma) y g) sólidos totales (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Además, se realizaron estudios de macroelementos (calcio y magnesio) y los microelementos (cobre, hierro y zinc ) ambos siguiendo el procedimiento de EPA 200.7.

Por lo que concierne a las pruebas microbiológicas se determinaron: a) Coliformes totales (NMX-AA-042-1987), b) Coliformes fecales (NMX-AA-042-1987), c) *Salmonella* y *Shigella* por método de siembra en placa y utilizando medio selectivo (APHA-AWWA-WPCF, 1992) y d) Huevos de Helminto (NOM-001-ECOL-1996).

#### 5. CARACTERIZACION DEL SUELO AGRICOLA

La caracterización se realizó de acuerdo a:

- 5.1.- Cartas control de suelo.

5.2. -Pruebas de fertilidad.

5.3.- Presencia de macro y microelementos.

5.4.- Análisis microbiológicos

Considerando el color del suelo, los nutrientes y su materia orgánica, se procedió a clasificar mediante cartas el suelo a emplear es de tipo Feozem Calcárico Castañozem Háplico. La característica de los Feozem, es una capa oscura, rica en materia orgánica y en nutrientes similar a los Castañozems que se caracterizan por tener una capa superior de color pardo o rojizo oscuros y acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado en el suelo.

El cuanto a pruebas de fertilidad el suelo es analizado de la misma forma que el biosólido en cuanto a: a) materia orgánica ( NMX-AA-21-1985), b) potencial de hidrógeno (NMX-AA-25-1984), c) nitrógeno (NMX-AA-24-1984), d) conductividad eléctrica (NMX-93-1981); e) fósforo (método de Olsen), f) potasio (EPA 200.7 empleando espectroscopía de emisión de plasma) y g) sólidos totales (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Así mismo los macro y microelementos analizados comprenden Ca, Mg, Fe, Cu y Zn determinados de acuerdo a la metodología de la EPA 200.7.

Por lo que respecta a los análisis microbiológicos se realizaron las siguientes análisis: a) Coliformes totales (NMX-AA-042-1987), b) Coliformes fecales (NMX-AA-042-1987), c) *Salmonella* y *Shigella* por medio de siembra en placa y utilizando medio selectivo (APHA-AWWA-WPCF, 1992) y d) Huevos de Helminto (NOM-001-ECOL-1996).

## 6. SELECCIÓN DE ESPECIES VEGETALES

Se seleccionaron 3 especies de cultivos básicos (2 sorgos y 1 maíz) y como cultivos de zonas áridas se estudiaron 12 especies (tabla 3) ambas seleccionadas por su importancia económica y ecológica para Nuevo León.

Los cultivos básicos se seleccionaron de acuerdo al criterio de que ocupan los primeros lugares de importancia de cultivos producidos en México y corresponden:

- Sorgo en grano (Sugar sweet)
- Sorgo Híbrido (DK-780)
- Maíz (variedad Hualauises).

*Sorgo vulgare (graminea):*

El cultivo de sorgo, se encuentra entre los primeros cinco lugares de especies básicas, su importancia radica en que puede sustituir al maíz en la mayoría de los usos que tiene, entre los que destaca la alimentación humana, como forraje, grano, en engorda de animales, etc. Esta especie es de una sola cosecha debido a que ocasiona agotamiento de nutrientes como P, N, entre otros y humedad; motivo por el cual se realiza una rotación de cultivos. Los sorgos se clasifican en dos grupos: los empleados como forraje y los de grano, la altura alcanzada por estas especies es de 1,80 a 4,20 m.

*Zea mays (graminea):*

El maíz es el alimento base de la sociedad mexicana y en la mayoría de los países de América; la importancia quizá se deba a su facilidad de adaptación a las diversas condiciones ecológicas y edáficas. Los cultivos de esta especie, son ocho veces mayores que lo que se destina para el cultivo de trigo y su producción presenta una relación 40 veces mayor. La altura que logra alcanzar es de aproximadamente 4 metros, además presenta una rica cantidad de hidratos de carbono, bajo nivel en proteínas y la cantidad de minerales presenta se encuentra en proporción a la del suelo.

Las especies seleccionadas de cultivos de zonas áridas fueron:

- a) *Leucaena leucocephala*
- b) *Pithecellobium pallens*
- c) *Pithecellobium ebanum*.

Tabla 3. Especies vegetales características de zonas áridas.

<i>Nombre científica</i>	<i>Nombre común</i>
<i>Pithecellobium ebano</i>	Ebano
<i>Pithecellobium pallens</i>	Tenaza
<i>Acacia berlanderi</i>	Huajillo
<i>Acacia wrightii</i>	Uña de gato
<i>Leucaena leucocephala</i>	Guaje
<i>Prosopis glandulosa</i>	Mezquite
<i>Condalia hookeri</i>	Brasil
<i>Parkinsonia aculeata</i>	Retama

## 7. PRUEBAS DE GERMINACION

### a) *Semillas de cultivos básicos.*

Se tomaron 100 semillas de cada uno de los cultivos y se colocaron en cajas Petri, las cuales contienen en el fondo papel filtro Whatman No. 45, el cual se encontraba humedecido con agua potable (Tabla 4 y 5), se les añade agua hasta cubrir ligeramente las semillas y se introduce dicho material en la incubadora a temperatura de 28 a 30 °C, se revisan cada 24 horas con el fin de observar la germinación y verificar la cantidad de humedad que presentan, se dejan en la incubadora hasta por 3 días para contabilizar la germinación, el procedimiento se realiza por triplicado.

### b) *Semillas de zonas áridas*

Las semillas de estas especies son escarificadas (abrasión física) con un papel de lija No. 1 y además son cortada en el ápice de las mismas con tijeras, (teniendo cuidado de no dañarla) posteriormente son colocadas en cajas Petri, las cuales contienen en el fondo papel filtro marca Whatman No. 45, humedecido con agua potable las semillas tratadas son cubiertas con agua destilada e incubadas de 30 a 33°C, se verifica su desarrollo cada 24 horas y permanecen en estas condiciones hasta por 1 semana, (es importante mencionar

que si presentan un olor a fermentación son enjuagadas y cambiada el agua), el experimento se determinó por triplicado para cada especie.

$$\% \text{ de germinación: } \frac{\text{semillas germinadas}}{\text{semillas totales (100)}} \times 100$$

**Nota:** a estos % de germinación se les determina valor promedio y desviación estandar.

Tabla 4. Análisis microbiológicos del agua potable

<i>Parámetro</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidades</i>	<i>Método</i>
<i>Mesofilicos aerobios</i>	0,0	<i>UFC/ml</i>	<i>APHA-AWWA-WPCF, 1992</i>
<i>Coliformes totales</i>	< 2,0	<i>NMP/100 ml</i>	<i>NMX-AA-042-1987</i>
<i>Coliformes fecales</i>	< 2,0	<i>NMP/100 ml</i>	<i>NMX-AA-042-1987</i>

Tabla 5. Indica las características fisicoquímicas del agua potable

<i>Parámetro</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidades</i>	<i>Método</i>
<i>Conductividad</i>	620,00	$\mu\text{mhos/cm}$	<i>NMX-AA-093-1984</i>
<i>Potencial de hidrógeno</i>	7,68	-----	<i>NMX-AA-008-1980</i>
<i>Alcalinidad</i>	130,00	$\text{mg/l CaCO}_3$	<i>NMX-AA-036-1980</i>
<i>Cloruros</i>	15,00	$\text{mg/l Cl}$	<i>NMX-AA-073-1981</i>
<i>Cloro libre residual</i>	1,18	$\text{mg/l Cl}$	<i>NMX-AA-100-1987</i>
<i>Dureza total</i>	340,00	$\text{mg/l CaCO}_3$	<i>NMX-AA-072-1984</i>
<i>Dureza de calcio</i>	260,00	$\text{mg/l CaCO}_3$	<i>NMX-AA-072-1984</i>
<i>Dureza de magnesio</i>	80,00	$\text{mg/l CaCO}_3$	<i>NMX-AA-072-1984</i>
<i>Sulfatos</i>	90,00	$\text{mg/l SO}_4$	<i>NMX-AA-074-1981</i>
<i>Color</i>	< 2,50	UPC	<i>NMX-AA-045-1981</i>
<i>Sólidos disueltos totales</i>	440,00	$\text{mg/l}$	<i>NMX-AA-020-1981</i>
<i>Turbiedad</i>	0,20	UTN	<i>NMX-AA-038-1981</i>

## 8. MEZCLAS DE SUELO - BIOSOLIDO

Se realizaron 5 diferentes proporciones de suelo-biosólido en porcentajes crecientes que iban de: 0, 10, 20, 30, 40 y 50% de biosólido; Cabe mencionar que se les adicionó perlitas de carbonato de calcio, material inerte con el fin de mejorar la difusión del agua en proporción del 30% en volumen de la cantidad del biosólido añadido. Una vez elaboradas las mezclas, eran colocadas en charolas de plástico de dimensiones de 12 x 12 x 15 cm, las cuales en el fondo presentaban unas ranuras que tuvieron que ser cubiertas con una capa de fibra de coco, para evitar la pérdida de material (mezcla), después de ello fueron cubiertas dichas cavidades con las mezclas aproximadamente 200g, se realizaron por triplicados por cada mezcla, dándonos un total de 15 recipientes por corrida.

## 9. TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS MEZCLAS

Se aplicaron tres diferentes tratamientos:

- a) Hidrólisis ácida.
- b) Hidrólisis alcalina.
- c) Reducción de materia orgánica

### *HIDRÓLISIS ACIDA*

Se elaboró una solución ácida, mezclando agua destilada (características mencionadas en la tabla 6) y se le adicionó ácido sulfúrico concentrado al 98% (aproximadamente 5 ml de  $H_2SO_4$  en 1 litro de  $H_2O$ ) y se ajusta a un pH de 4,0 a 5,0. Una vez realizada, los recipientes conteniendo las mezclas 10, 20, 30, 40 y 50% de Biosólido son humedecidas con dicha solución, tantas veces sea necesaria hasta modificar el pH de las mezclas.

### *HIDRÓLISIS ALCALINA*

Se elaboró una solución álcali, mezclando agua destilada (características mencionadas en la tabla 6) y se le adicionó lentejas de hidróxido de sodio, marca PQM, grado reactivo

(aproximadamente 4g de NaOH en 1 litro de H<sub>2</sub>O) hasta ajustar a un pH de 8,0 a 9,0. Una vez realizada, los recipientes conteniendo las mezclas 10, 20, 30, 40 y 50% de Biosólido son humedecidos con dicha solución, tantas veces sea necesaria hasta modificar el pH de las mezclas finales.

### REDUCCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Se prepara una solución que contiene 0,45g de metabisulfito de sodio en 1,0 litro de agua destilada a la cual previamente se le ha ajustado el pH a 6,0; debido a que es en éste valor en el cual el metabisulfito ejerce su máxima acción reductora. Una vez preparados los recipientes que contienen las mezclas 10, 20, 30, 40 y 50% de biosólido son humedecidos, aproximadamente 3 veces.

Tabla 6. Características del agua destilada empleada.

<i>Parámetro</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidades</i>	<i>Método</i>
<i>Conductividad</i>	1,50	µmhos/cm	NMX-AA-093-1984
<i>Dureza Total</i>	< 1,00	mg/l CaCO <sub>3</sub>	NMX-AA-072-1984
<i>Cloruros</i>	2,56	mg/l Cl	NMX-AA-073-1981
<i>Sulfatos</i>	< 5,00	mg/l SO <sub>4</sub>	NMX-AA-074-1981
<i>Alcalinidad</i>	2,30	mg/l CaCO <sub>3</sub>	NMX-AA-036-1980
<i>Color</i>	< 2,50	UPC	NMX-AA-045-1981
<i>Turbiedad</i>	0,10	UTN	NMX-AA-038-1981
<i>Potencial de hidrógeno</i>	6,25	-----	NMX-AA-008-1980

A fin de comparar el efecto de los tratamientos, se evaluó una corrida sin tratamiento alguno, utilizada como testigo solo se trabajo con las diferentes concentraciones de suelo-biosólido y para observar el efecto de los diferentes concentraciones se realizó un blanco en el cual se trabajó con recipientes que contenían el 100% de suelo.

## 10. ANALISIS DE LAS MEZCLAS SUELO-BIOSOLIDO

Se les practicaron análisis microbiológicos (tabla 7) así mismo, se realizaron análisis fisicoquímicos (tabla 8) a las diferentes concentraciones (10 al 50% de biosólido).

Tabla 7. Análisis microbiológicos realizados a las diferentes proporciones de mezclas.

<i>Pruebas</i>	<i>Método</i>
<i>Coliformes totales</i>	NMX-AA-042-1987
<i>Coliformes fecales</i>	NMX-AA-042-1987
<i>Salmonella</i>	APHA-AWWA-WPCF, 1992. Medio selectivo
<i>Shigella</i>	APHA-AWWA-WPCF, 1992. Medio selectivo

Tabla 8. Muestra los análisis fisicoquímicos realizados a las mezclas de suelo-biosólido

<i>Análisis</i>	<i>Método</i>
<i>Conductividad</i>	NMX-AA-093-1984
<i>Potencial de hidrógeno</i>	NMX-AA-008-1980
<i>Fósforo</i>	Método de Olsen
<i>Nitrógeno</i>	NMX-AA-026-1981

## 11. SIEMBRA DE ESPECIES VEGETALES

Evaluada la viabilidad de cada especie, se procedió a sembrar de la siguiente manera :

- Se colocaron 3 recipientes de cada mezcla suelo-biosólido, para cada uno de los tratamientos.
- Se aplica el tratamiento químico a cada una de las especies vegetales (agregando la solución ya sea ácida, alcalina, metabisulfito o sin tratamiento), como se indica en los tratamientos anteriores.
- Se humedece ligeramente los recipientes con la mezcla empleando agua potable, hasta dejar un punto de consistencia.

- d) Se realizan perforaciones en los recipientes en forma de triángulo con un agitador de vidrio y una profundidad de 3 a 4 cm.
- e) Son colocadas las semillas ya germinadas de las especies a probar.
- f) Finalmente son cubiertas los orificios con las mezclas respectivas.

Posteriormente son trasladadas a cámaras bioclimáticas marca Biotronette, a una temperatura las especies de cultivos básicos de 28 a 30°C con períodos de luz de 14 horas y 10 horas de oscuridad. Por lo que respecta a las especies de cultivo de zonas áridas son trasladadas al invernadero donde la temperatura fluctúa entre 30 a 40°C y con tiempos naturales de luz y oscuridad.

## 12. DESARROLLO DE LAS ESPECIES

Las especies ya sembradas son sometidas a riego cada tercer día empleando agua potable, y se verifican las condiciones de temperatura y humedad, por semana se les determina la altura registrándose y se hacen observaciones físicas de las plantas.

En el caso de las especies de sorgo y maíz el tiempo del experimento fue de 3 meses, tiempo en el cual los sorgos alcanzaron producción de espiga y granos, sin embargo para la especie del maíz solo se le registró hasta esta fecha su altura.

### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En las especies de *Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium pallens* y *Pithecellobium ebano*, su tiempo final es de 10 semanas, tiempo final en el cual se determina biomasa, altura y número de ramas.

## 13. ANALISIS FINALES

### A) Mezclas Suelo-Biosólido.

Se determinan pruebas de: a) fertilidad, b) micro y macro elementos y c) análisis microbiológicos

El suelo es analizado de la misma forma que el biosólido en cuanto a: a) materia orgánica (NMX-AA-21-1985), b) potencial de hidrógeno (NMX-AA-25-1984), c) nitrógeno (NMX-AA-24-1984), d) conductividad eléctrica (NMX-93-1981); e) fósforo (método de Olsen), f) potasio (EPA 200.7 empleando espectroscopía de emisión de plasma) y g) sólidos totales (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Así mismo los macro y microelementos analizados comprenden: Ca, Mg, Fe, Cu y Zn determinados de acuerdo a la metodología EPA 200.7

Por lo que respecta a los análisis microbiológicos se realizaron los siguientes análisis: a) Coliformes totales (NMX-AA-042-1987), b) Coliformes fecales (NMX-AA-042-1987), c) *Salmonella* y *Shigella* por medio de siembra en placa y utilizando medio selectivo (APHA-AWWA-WPCF, 1992) y d) Huevos de Helminto (NOM-001-ECOL-1996).

#### *B) Análisis a las especies vegetales producidas*

De cada uno de los tratamientos se tomaron todas sus repeticiones y de ellas se formó una muestra única representativa, las plantas fueron enjuagadas con agua destilada y posteriormente secadas en una estufa a 70°C por 24 horas con el propósito de eliminar las impurezas y la realización de sus posteriores análisis entre los que figuraban obtención final de biomasa, altura final de plantas y raíces, y por último los análisis de macro y micro elementos en planta.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## **14. EVALUACION ESTADISTICA**

El muestreo de lodos de PTAR se efectuó bajo la técnica de muestreo aleatorio simple de acuerdo con Cochran (1990). El diseño experimental para la determinación físico-química y bacteriológica de lodos estabilizados consistió en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones para cada determinación y estación del año (Steele y Torries, 1985).

Para los ensayos de incorporación de lodos a suelos agrícolas bajo la aplicación de diferentes tratamientos se utilizó un diseño multifactorial con dos factores ( 4 especies y 6 tratamientos incluyendo el testigo), cada nivel del factor tendrá 3 repeticiones (Zar, 1996).

Todos los datos cuantitativos registrados constarán mínimo de 3 repeticiones y se someterán a un análisis de varianza simple para todas y cada una de las determinaciones.

Los datos de análisis de suelos enriquecidos con lodos, parámetros de crecimiento, análisis químicos de tejidos vegetales se sometieron a un análisis de varianza multifactorial donde se determinaron los efectos de tratamientos, tipo de suelo y estación del año sobre la planta y el contenido de tejido. Los valores medios resultado de todas las determinaciones se compararan mediante la prueba de Tukey (Zar, 1996).

Las relaciones funcionales entre los parámetros de crecimiento, contenidos de tejidos vegetales con los tratamientos aplicados se determinaron mediante un análisis de regresión.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## RESULTADOS

### 1. CONTENIDO DE HUMEDAD Y CARACTERIZACION DEL BIOSOLIDO

Del material inicial (600 Kg base húmeda) se obtuvieron 130,0 Kg de lodo seco, correspondiendo al 21,66 % de sólidos totales y 78,34 % de humedad.

#### a) CRETIB

La caracterización del lodo se llevó a cabo en cuatro etapas las cuales se evaluaron de acuerdo a las normas prevalecientes y con los métodos oficiales que rigen en la región. En la primera etapa se realizaron las pruebas CRETIB esto con el fin de determinar si el residuo es peligroso y si es apropiado trabajar con el, los resultados de la evaluación se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Análisis CRETIB practicados al biosólido de acuerdo a la NOM-052-ECOL./1993.

<b>PRUEBA</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>Corrosividad</b>	
Potencial de Hidrógeno Acero (SAE)	6,60 0,216 mm/ año
<b>Reactividad</b>	
Cianuro	<0,030 mg/Kg HCN
Sulfuros	<5,000 mg/Kg H <sub>2</sub> S
Sol. ácidas/básicas	Negativo
<b>Explosividad</b>	Negativo
<b>Toxicidad</b>	
<b>Compuestos Inorgánicos</b>	(mg/l)
Arsénico	<0,015
Bario	0,037
Cadmio	<0,002
Cromo hexavalente	<0,500
Mercurio	<0,0002
Níquel	0,086
Plata	<0,025
Plomo	<0,012
Selenio	<0,041

<b>CRETIB Orgánicos No Volátiles</b>	<b>mg/l</b>
Acrilonitrilo	<0,020
Clordano	<0,001
o-Cresol	<0,005
m-Cresol	<0,005
p-Cresol	<0,005
Ac. 2,4,-Diclorofenoxiacético	<0,200
2,4-Dinitrotolueno	<0,005
Endrin	0,0057
Heptacloro y su epóxido	0,0023
Hexacloroetano	<0,005
Lindano	<0,0001
Metoxicloro	<0,005
Nitrobenceno	<0,005
Pentaclorofenol	<0,005
2,3,4,6-Tetraclorofenol	<0,005
Toxafeno	<0,001
2,4,5-Triclorofenol	<0,005
2,4,6-Triclorofenol	<0,005
2,4,5-Acido Triclorofenoxypropiónico	<0,200
<b>Orgánicos Volátiles</b>	
Benceno	<0,020
Bis (2-Cloroetil) Eter	<0,005
Clorobenceno	<0,020
Cloroformo	<0,020
<b>Orgánicos volátiles</b>	
Cloruro de Metilo	<0,020
Cloruro de Vinilo	<0,020
1,2-Diclorobenceno	<0,020
1,4-Diclorobenceno	<0,020
1,2-Dicloroetano	<0,020
1,1-Dicloroetileno	<0,020
Disulfuro de Carbono	<0,020
Fenol	<0,005
Hexaclorobenceno	<0,005
Hexaclorobutadieno	<0,005
Isobutanol	<0,020
Metil Etil Cetona	<0,020
Piridina	<0,005
1,1,2,2-Tetracloroetano	<0,020
1,1,1,2-Tetracloroetano	<0,020
Tetracloruro de carbono	<0,020
Tetracloroetileno	<0,020
Tolueno	<0,020
1,1,1-Tricloroetano	<0,020
1,1,2-Tricloroetano	<0,020
Tricloroetileno	<0,020
Inflamabilidad	
Punto de Ignición	NA

Nota : N. A. = No aplica

De lo anterior, podemos mencionar que de acuerdo a la Norma Ecológica 053 de 1993, el residuo del cual partimos es considerado apto para la investigación y puede ser utilizado bajo condiciones controladas para posteriores pruebas de caracterización.

**b) PRUEBAS DE FERTILIDAD**

En base a la metodología establecida correspondiente a la incorporación de biosólidos a suelos agrícolas, fue necesario la determinación de la fertilidad del biosólido tanto en materia orgánica como en contenido de N y P disponible para el desarrollo de las especies vegetales (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de fertilidad practicados al biosólido.

<i>Parámetro</i>	<i>Resultados</i>
Materia orgánica	38,6 %
Conductividad eléctrica	2,5 micromhos/cm
Potencial de hidrógeno	6,6 -----
Nitrógeno disponible	7,0 ppm
Fósforo disponible	4 260,0 ppm
Potasio disponible	4 352,0 ppm
Sólidos totales	21,66 %

De acuerdo a estos resultados, el biosólido posee un alto contenido de P y K disponible que conforme al tipo de cultivos básicos es adecuado su uso, lo que evita el agotamiento de nutrientes en el campo de cultivo, tomando en cuenta que la riqueza en materia orgánica esta favorece notablemente el crecimiento y desarrollo de las especies probadas.

**c) PRESENCIA DE MICRO Y MACROELEMENTOS.**

Estos parámetros son importantes en las reacciones de fotosíntesis y desarrollo de las plantas, algunos de ellos son indispensables y otros sirven como catalizadores de muchas reacciones, entre estos micro y macroelementos hay que destacar la importancia del Fe y Mn, en la calidad de textura y color de las plantas. Los resultados de dichas determinaciones se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Presencia de micro y macroelementos contenidos en el biosólido.

<i>Metales</i>	<i>Resultados</i>
Cobre (Cu)	< 0,024 ppm
Hierro (Fe)	< 0,083 ppm
Manganeso (Mn)	0,823 ppm
Zinc(Zn)	0,089 ppm

Como indican las cuantificaciones el contenido de Fe y Cu es bajo, debido a que no se encontró un valor determinante, ya que la cantidad detectada fue menor al límite de detección del método aplicado, indicando que dichos elementos no repercutirá de ninguna manera sobre los cultivos, por lo que respecta al Mn los valores encontrados son altos con respecto al contenido de los suelos agrícolas (2.4 veces mayor) y el valor del Zn fue aceptable.

#### d) ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.

El contenido de carga microbiana es importante, ya que de este factor depende la factibilidad de poder utilizar dicho residuo, existe una limitante por el contenido permitido, el cual varía dependiendo de la región, entre los países que enfatizan sobre este punto se encuentran: Francia, Canadá, E. U. y México. Los resultados correspondientes al análisis microbiológico se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Análisis microbiológicos practicados al residuo, de acuerdo a la metodología aplicada..

<i>Muestra</i>	<i>Concentración</i>	<i>Coliformes totales NMP/g</i>	<i>Coliformes fecales NMP/g</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Shigella</i>	<i>Huevos de Helmineto</i>
Biosólido <sup>*1</sup>	100%	42 000,0	42 000,0	Negativo	Negativo	0,0
Biosólido <sup>*2</sup>	100%	760,0	640,0	Negativo	Negativo	—

NOTA: <sup>\*1</sup> Lectura inicial.

<sup>\*2</sup> Valor registrado después del secado.

Como indican los resultados la carga microbiana se ve afectada por las condiciones de temperatura, exposición a secado, así como a humedad, disminuyendo así drásticamente al momento de encontrarse en estado deshidratado, hecho que beneficia, facilitando las condiciones de manejo debido a que representa menor riesgo para su incorporación y manipulación, además de

que disminuye los costos de tratamiento de desinfección, razón por la cual se considera el secado como una buena alternativa que regulariza el sistema microbiano de los residuos.

Tomando en cuenta el patrón de comportamiento del biosólido deshidratado, desde el punto de vista microbiológico, no presenta ningún inconveniente para ser incorporado al suelo agrícola como agente enriquecedor de suelos.

## **2. CARACTERIZACION DEL SUELO AGRICOLA**

### **a) CARTAS CONTROL DE SUELO.**

El suelo utilizado como testigo, fue caracterizado al igual que el biosólido en 4 etapas entre las que se enlista de acuerdo a las cartas edafológicas de INEGI, 1977, en la cual se caracteriza como del tipo Feozem Calcárico-Castañozem Háptico, que posee una capa oscura, rico en materia orgánica y cuyas concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio corresponden a valores aproximados son de 5, 41 y 129,0ppm. Además la capacidad de retención de humedad que presenta este suelo de tipo arcilloso es de 24,91 %. La determinación de textura, de acuerdo al método de Bouyoucos indica que su composición de arena es de 21,84%, limo 28,00 %, arcilla 60,16 % lo cual lo clasifica como de tipo arcilloso; por lo que respecta a las sales solubles (Puente de Wheastone) es no salino con un valor estimado de 1,5mmhos/cm.

### **b) PRUEBAS DE FERTILIDAD**

Con el fin de conocer la composición química del suelo empleado, se efectuaron pruebas indicativas de las características materia orgánica, presencia de minerales y cargas de los mismos, para poder asociar estas con el desarrollo de las especies. Dichos estudios se reflejan en la tabla 13.

Tabla 13. Pruebas de fertilidad practicadas al suelo.

<i>Parámetro</i>	<i>Contenido</i>
Materia orgánica	1,42 %
Conductividad eléctrica	300,00 micromhos/cm
Potencial de hidrógeno	8,40 -----
Nitrógeno disponible	5,00 ppm
Fósforo disponible	41,00 ppm
Potasio disponible	129,00 ppm

De lo anterior podemos determinar que la cantidad de fósforo (41,0 ppm) y potasio (120,0 ppm) es limitada con respecto al biosólido y que el nitrógeno disponible en ambos presenta valores similares de 5,0 y 7,0 ppm.

c) *MICRO Y MACROELEMENTOS EN SUELO.*

La importancia radica, en que forman parte importantes de las funciones vitales del ciclo de las plantas, estos en el suelo se encuentra de manera natural, la cantidad de los mismos representa la calidad del suelo lo que se ve influenciado hacia la preferencia de ciertos cultivos, conociendo de antemano la diversidad de suelos en México decidimos evaluarlo y los resultados sobre las determinaciones de micro y macroelementos se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Contenido de macro y microelementos del suelo.

<i>Metales</i>	<i>Valor (ppm)</i>
Cobre (Cu)	< 0,024
Hierro (Fe)	0,669
Manganeso (Mn)	0,348
Zinc(Zn)	0,211

Cabe señalar que la cantidad de Cu presente es menor a 0,024 ppm lo cual nos indica que es una cantidad muy baja, por lo que respecta al Fe y Zn determinamos que es superan lo reportado por el biosólido y que solo el manganeso se encuentra en concentración inferior.

Además de estas determinaciones se realizaron pruebas de algunos metales, de acuerdo al método de la EPA 200.7 las cuales se presentan en la tabla 15.

Tabla 15. Determinación de metales en suelo agrícola.

<i>Metales</i>	<i>Valor (ppm)</i>
Boro	35,16 ppm
Cadmio	0,01 ppm
Cromo total	16,00 ppm
Mercurio	0,07 ppm
Molibdeno	No detectado
Níquel	7,40 ppm
Plomo	31,57 ppm

#### d) ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.

La cantidad de bacterias presentes en el suelo es muy variable, existen innumerables microorganismos que se pueden desarrollar esta actividad los cuales van desde virus, bacterias, helmintos, protozoarios hongos, parásitos etc. Sin embargo en nuestra matriz solo caracterizamos un número reducido, los cuales se indican en la tabla 16.

Tabla 16. Análisis microbiológicos practicados al suelo provenientes del campo.

<i>Muestra</i>	<i>Coliformes totales NMP/g</i>	<i>Coliformes fecales NMP/g</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Shigella</i>	<i>Huevos de Helminto</i>
Suelo	< 2,0	< 2,0	Negativo	Negativo	0,0

Nota: El valor de < 2,0 corresponde al límite de detección del método, de acuerdo a la técnica de NMP.

Haciendo referencia a todo lo anterior, podemos definir que el suelo proveniente del campo agrícola es carente de materia orgánica y microelementos tales como el fósforo (P) y potasio (K) por lo tanto la incorporación de biosólidos a dichos suelos puede ser una alternativa en el enriquecimiento de los suelos.

### 3. COMPORTAMIENTO DE ESPECIES VEGETALES A BIOSOLIDOS

Se determinó el efecto de la dosis de biosólidos sobre el proceso de germinación de las especies de cultivo básico, en la primera etapa su actividad para posteriormente estudiar el comportamiento de cada una de las especies bajo condiciones controladas (camara bioclimática).

Los resultados obtenidos sobre dicho proceso se presentan en la tabla 17. Por lo que corresponde a las especies leñosas de zonas áridas, se probaron un número de especies mayor, debido a la complejidad del proceso de germinación y desarrollo, seleccionando las 3 mejores especies de la familia *mimosaceae* entre las que se encuentran: *Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium pallens* y *Pithecellobium ebano* los resultados de germinación de las especies leñosas se muestran en la tabla 18 .

Tabla 17. Ensayos de germinación realizados a especies de cultivo básico.

<i>Especie</i>	<i>% de germinación ± D. E.</i>
Sorgo forragero (Sugar sweet)	92,0 ± 2,16
Sorgo híbrido (DK-780)	96,0 ± 3,56
Maiz (Hualauises)	88,0 ± 6,48

n=100, D. E. = Desviación estandar

### UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Tabla 18. Especies arbustivas de zonas áridas candidatas a ser utilizadas en los ensayos con los biosólidos.

<i>Especie</i>	<i>% de germinación ± D. E.</i>
<i>Acacia berlanderi</i> Benth.	9,3 ± 0,94
<i>Acacia wrightii</i> Benth.	7,3 ± 2,94
<i>Condalia hookeri</i> M. C. Johnst.	5,3 ± 1,88
<i>Leucaena leucocephala</i> Lam. de Wit.	90,0 ± 4,90
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	8,0 ± 1,63
<i>Pithecellobium ebano</i> (Benth.) Cculter	68,0 ± 6,53
<i>Pithecellobium pallens</i> (Benth.) Standl.	82,0 ± 1,63
<i>Prosopis glandulosa</i> M. C. Johnst.	11,3 ± 2,49

n=50, D. E. = Desviación estandar

#### 4. ANALISIS CORRESPONDIENTES A PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS Y QUÍMICAS

Determinando de antemano la factibilidad del uso de materiales (biosólido y suelo), considerándolos apropiados para este estudio se procedió a realizar las mezclas a diferentes concentraciones en la primera etapa se contemplaron concentraciones de 0 hasta 100%, sin embargo, pese a los resultados obtenidos en los preliminares se descartaron las conc. superiores al 50% debido a que se obtuvo suelos muy compactos, los cuales endurecían la tierra imposibilitando el desarrollo de las plántulas, con el fin de solucionar este problema se procedió a utilizar perlitas de  $\text{CaCO}_3$  inerte, para lo cual también se probaron con diferentes mediciones las cuales se relacionaban con el volumen del biosólido empleado el cual fue el causante de este efecto, se probaron volúmenes desde 10 hasta 50%, en donde los datos más satisfactorios correspondieron a la dosis 30% del volumen de biosólido, sin embargo, aunque el problema de compactación y transporte de agua se solucionaba, también se observó que a partir del 60% de inclusión de biosólido las mezclas eran más atractivas para los insectos observándose larvas de moscas (*Muscidae*), motivo por el cual se descartaron las concentraciones de iban de 60% hasta el 100% de incorporación de biosólido. Cabe mencionar que debido al efecto satisfactorio obtenido por la incorporación de perlitas se decidió emplearlas en las mezclas seleccionadas las cuales comprenden: 10, 20, 30, 40 y 50% de biosólido, además el suelo puro como testigo.

Los resultados correspondientes a las pruebas microbiológicas y fisicoquímicas se presentan en las tablas 19 y 20.

Tabla 19. Análisis microbiológicos correspondientes a las mezclas biosólido – suelo al inicio del estudio.

<i>Dosis de biosólido</i>	<i>Coliformes totales NMP/g</i>	<i>Coliformes fecales NMP/g</i>	<i>Salmonella</i>	<i>Shigella</i>
10%	7,0	2,2	Negativo	Negativo
20%	24,0	6,0	Negativo	Negativo
30%	26,7	7,0	Negativo	Negativo
40%	139,3	76,0	Negativo	Negativo
50%	220,0	132,0	Negativo	Negativo

Tabla 20. Determinación de pH realizado a las mezclas después de haber sido realizados los tratamientos.

<i>Dosis de biosólido</i>	<i>Tratamiento ácido</i>	<i>Tratamiento alcalino</i>	<i>Tratamiento metabisulfito</i>	<i>Sin tratamiento</i>
10%	5,51	8,20	6,10	7,56
20%	5,42	8,31	6,22	7,48
30%	5,38	8,26	6,15	7,42
40%	5,36	8,33	6,32	7,39
50%	5,28	8,28	6,42	7,32

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 5. PRUEBA DE REDUCCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.

En esta prueba adicional a lo practicado a aquellas que se les somete a hidrólisis (ácida o alcalina) se le determino el efecto de reducción de materia orgánica, función particular que presento el bisulfito de sodio y tratamiento que beneficia a hacerlo menos atrayente las pruebas y condiciones a que estuvo sujeto. Los resultados se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Pruebas que muestran el efecto de la adición del bisulfito de sodio a diferentes tratamientos y pH.

<i>Muestra</i>	<i>DQO (ppm)</i>	<i>% Oxid. (1)</i>	<i>% Oxid. (2)</i>	<i>% Oxid. (3)</i>
Mta. Sin procesar (1)	3650,56	-----		
Mta. Procesada (2)	1269,60	65,22	-----	
Mta. Tratada (3)	1124,26	69,20	11,45	-----
Mta. Sin procesar con bisulfito sin filtrar	3690,24	No efecto	No efecto	No efecto
Mta. Sin procesar con bisulfito filtrado	1031,68	71,74	18,74	8,23
Mta. Tratada con bisulfito pH=2.0	925,86	74,64	27,07	17,65
Mta. Tratada con NaOH pH=9.0	978,77	73,19	22,90	12,94
Mta. Tratada con bisulfito pH=5.0	750,00	79,46	40,93	33,29
Mta. Tratada con bisulfito pH=9.0	785,00	78,50	38,17	30,18

Nota: DQO: se refiere a la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente.

Oxid: oxidación de acuerdo a los tratamientos.

1, 2 y 3: diferentes tratamientos.

## 6. DESARROLLO DE LAS ESPECIES

Una vez seleccionadas las especies vegetales, estas son sembradas y cultivadas bajo condiciones controladas, durante cada semana se registran mediciones de altura así como observaciones físicas, hasta el momento en el que culmina el experimento el cual varía de 10 a 12 semanas.

De las especies que muestran crecimiento se les determinó el porcentaje de sobrevivencia y mortalidad el cual se indica en las tablas 22 y 23. En referencia a estas tablas observamos que las especies de cultivo básico presentan mayor sobrevivencia en las diferentes concentraciones de biosólido, sin embargo cabe mencionar que las de zonas áridas son especies más requisitas, en relación a lo anterior las especies de sorgo encabezan los porcentajes más altos y por su parte la especie de *Pithecellobium ebano* es la que representa una mayor mortalidad, sin embargo en todas las concentraciones se observó desarrollo de las especies vegetales.

Tabla 22. Tasa de sobrevivencia de las especies vegetales de cultivo básico bajo el efecto de la concentración del biosólido.

<i>Especie</i>	<i>Conc. de biosólido</i>	<i>% de Sobrevivencia Testigo</i>	<i>% de Sobrevivencia T. Acido</i>	<i>% de Sobrevivencia T. Alcalino</i>	<i>% de Sobrevivencia T. Bisulfito</i>
Sorgo Sugar sweet	0,0	100,0	----	----	----
	10,0	100,0	88,8	77,7	66,6
	20,0	77,7	94,4	66,6	72,2
	30,0	94,4	94,4	83,3	72,2
	40,0	88,8	50,0	33,3	33,3
	50,0	100,0	33,0	22,2	27,7
Sorgo DK-780	0,0	94,4	----	----	----
	10,0	88,8	94,4	77,7	55,5
	20,0	88,8	88,8	72,2	55,5
	30,0	94,4	94,4	83,3	72,2
	40,0	83,3	66,6	44,4	27,7
	50,0	77,7	61,1	22,2	22,7
Maíz	0,0	77,7	----	----	----®
Hualauises	10,0	66,6	77,7	66,6	61,1
	20,0	66,6	77,7	61,1	66,6
	30,0	72,2	77,7	61,1	72,2
	40,0	44,4	27,7	22,2	33,3
	50,0	27,7	27,7	22,2	27,7

Tabla 23. Tasa de sobrevivencia de las especies de zonas áridas bajo el efecto de la concentración del biosólido.

<i>Especie</i>	<i>Conc. de biosólido</i>	<i>% de Sobrevivencia Testigo</i>	<i>% de Sobrevivencia T. Acido</i>	<i>% de Sobrevivencia T. Alcalino</i>	<i>% de Sobrevivencia T. Bisulfito</i>
<i>Leucaena leucocephala</i>	0,0	100,0	----	----	----
	10,0	88,8	77,7	100,0	22,3
	20,0	100,0	88,8	100,0	11,2
	30,0	100,0	88,8	100,0	22,3
	40,0	100,0	77,7	77,7	44,5
	50,0	77,7	66,6	55,5	44,5
<i>Pithecellobium pallens</i>	0,0	100,0	----	----	----
	10,0	88,8	88,8	88,8	33,4
	20,0	100,0	88,8	88,8	22,3
	30,0	88,8	88,8	88,8	22,3
	40,0	----	55,5	66,6	44,5
	50,0	77,7	55,5	55,5	55,6
<i>Pithecellobium ebano</i>	0,0	55,5	----	----	----
	10,0	66,6	33,3	33,3	---- <sup>®</sup>
	20,0	66,6	33,3	33,3	----
	30,0	55,5	----	22,2	77,8
	40,0	33,3	33,3	----	88,9
	50,0	22,2	33,3	11,1	88,9

En relación a las alturas que se registran durante el tiempo del experimento se muestra en la tabla 24 los valores registrados con respecto al tiempo por las especies de cultivo básico y en la tabla 25 los reportados por las especies arbustivas. De acuerdo al tipo de cultivo es el

crecimiento del mismo razón por la cual el maíz, los sorgos y posteriormente *Leucaena*, *P. pallens* y *P. ebano* encabezan la lista.

Tabla 24. Ecuaciones de regresión obtenidas de la relación tiempo y altura en las especies de cultivo básico.

<i>Especie</i>	<i>Conc. de Biosólido</i>	<i>Ecuación de regresión</i> $Y_i = a + bX_i$	<i>Coef. de regresión</i>	<i>Coef. de Correlación</i>
Sorgo	0,0%	$Y_i = -9,6033 + 5,9300 X_i$	0,9923	0,9847
Sugar sweet	10,0%	$Y_i = -13,2115 + 7,0824 X_i$	0,9896	0,9793
	20,0%	$Y_i = -13,2631 + 7,4605 X_i$	0,9907	0,9816
	30,0%	$Y_i = -12,8588 + 7,8593 X_i$	0,9945	0,9892
	40,0%	$Y_i = -9,3106 + 5,1803 X_i$	0,9900	0,9801
	50,0%	$Y_i = -8,6939 + 4,7969 X_i$	0,9926	0,9852
Sorgo DK-780	0,0%	$Y_i = -10,4075 + 5,8478 X_i$	0,9841	0,9685
	10,0%	$Y_i = -12,3559 + 6,6769 X_i$	0,9898	0,9797
	20,0%	$Y_i = -13,1826 + 7,3073 X_i$	0,9877	0,9755
	30,0%	$Y_i = -14,8299 + 8,3224 X_i$	0,9786	0,9575
	40,0%	$Y_i = -10,1898 + 4,9172 X_i$	0,9875	0,9752
	50,0%	$Y_i = -8,6611 + 4,3777 X_i$	0,9839	0,9680
Maíz Hualauises	0,0%	$Y_i = -14,2582 + 9,7238 X_i$	0,9675	0,9362
	10,0%	$Y_i = -11,4027 + 9,5349 X_i$	0,9726	0,9460
	20,0%	$Y_i = -10,5948 + 9,4491 X_i$	0,9714	0,9634
	30,0%	$Y_i = -9,2996 + 9,5620 X_i$	0,9645	0,9302
	40,0%	$Y_i = -4,0858 + 6,6493 X_i$	0,9382	0,8803
	50,0%	$Y_i = -3,7269 + 6,4495 X_i$	0,9326	0,8698

Tabla 25. Ecuaciones de regresión obtenidas de los factores tiempo y altura en las especies arbustivas.

<i>Especie</i>	<i>Conc. de Biosólido</i>	<i>Ecuación de regresión</i> $Y_i = a + bX_i$	<i>Coef. de regresión</i>	<i>Coef. de Correlación</i>
<i>Leucaena leucocephala</i>	0,0%	$Y_i = 3,0486 + 2,1967 X_i$	0,9737	0,9481
	10,0%	$Y_i = -0,7212 + 2,9468 X_i$	0,9962	0,9922
	20,0%	$Y_i = -3,8300 + 3,5531 X_i$	0,9895	0,9791
	30,0%	$Y_i = -2,3406 + 2,3457 X_i$	0,9801	0,9606
	40,0%	$Y_i = -7,4365 + 4,7259 X_i$	0,9850	0,9702
	50,0%	$Y_i = -7,0712 + 3,0276 X_i$	0,9723	0,9453
<i>Pithecellobium pallens</i>	0,0%	$Y_i = -2,8480 + 2,8185 X_i$	0,9953	0,9907
	10,0%	$Y_i = -4,2227 + 2,8371 X_i$	0,9819	0,9641
	20,0%	$Y_i = -3,7440 + 2,5836 X_i$	0,9749	0,9505
	30,0%	$Y_i = -5,9720 + 3,4302 X_i$	0,9665	0,9342
	40,0%	-----	-----	-----
	50,0%	$Y_i = -3,4533 + 1,3697 X_i$	0,9529	0,9081
<i>Pithecellobium ebano</i>	0,0%	$Y_i = -0,2060 + 0,9727 X_i$	0,9722	0,9452
	10,0%	$Y_i = 0,8848 + 1,1741 X_i$	0,9944	0,9889
	20,0%	$Y_i = -0,2591 + 0,4899 X_i$	0,9714	0,9437
	30,0%	$Y_i = -0,1727 + 0,3804 X_i$	0,9857	0,9716
	40,0%	-----	-----	-----
	50,0%	-----	-----	-----

En cuanto a las observaciones físicas observamos que en concentraciones superiores a 30% de inclusión de biosólido, a partir de la sexta semana, en todos los cultivos se presenta una coloración amarillenta (clorosis) y un desarrollo más lento.

## 7. ANALISIS FINALES DE MEZCLAS Y ESPECIES VEGETALES

### a) MEZCLAS SUELO – BIOSÓLIDO.

A estas mezclas se les realizaron análisis microbiológicos los cuales comprendieron determinaciones de coliformes totales, coliformes fecales, *Salmonella* y *Shigella*, en relación a las

diferentes concentraciones de biosólido, mostrándose los resultados en la tabla 26 y en relación al efecto de los diferentes tratamientos como lo son el ácido, alcalino y la oxidación de materia orgánica los expresamos en la tabla 27.

Tabla 26. Análisis microbiológicos realizados a las mezclas biosólidos-suelo en las especies vegetales.

<i>Especie</i>	<i>Concentración de biosólido (%)</i>	<i>Coliformes Totales (NMP)</i>	<i>Coliformes Fecales (NMP)</i>	<i>Salmonella y Shigella (UFC/g)</i>
Sorgo sugar Sweet	0,0	9,0	7,0	Negativo
	10,0	23,0	15,0	Negativo
	20,0	28,0	15,0	Negativo
	30,0	93,0	43,0	Negativo
	40,0	150,0	75,0	Negativo
	50,0	210,0	90,0	Negativo
Sorgo grano DK-780	0,0	7,0	7,0	Negativo
	10,0	14,0	9,0	Negativo
	20,0	28,0	15,0	Negativo
	30,0	75,0	23,0	Negativo
	40,0	93,0	43,0	Negativo
	50,0	210,0	150,0	Negativo
Maiz Hualahuises	0,0	9,0	7,0	Negativo
	10,0	28,0	14,0	Negativo
	20,0	43,0	23,0	Negativo
	30,0	75,0	43,0	Negativo
	40,0	150,0	90,0	Negativo
	50,0	210,0	150,0	Negativo
<i>Leucaena leucocephala</i>	0,0	15,0	7,0	Negativo
	10,0	9,0	9,0	Negativo
	20,0	14,0	11,0	Negativo
	30,0	39,0	15,0	Negativo
	40,0	43,0	23,0	Negativo
	50,0	210,0	150,0	Negativo
<i>Pithecellobium pallens</i>	0,0	7,0	7,0	Negativo
	10,0	23,0	15,0	Negativo
	20,0	28,0	21,0	Negativo
	30,0	43,0	23,0	Negativo
	40,0	150,0	43,0	Negativo
	50,0	210,0	75,0	Negativo
<i>Pithecellobium ebano</i>	0,0	9,0	7,0	Negativo
	10,0	43,0	23,0	Negativo
	20,0	93,0	43,0	Negativo
	30,0	93,0	90,0	Negativo
	40,0	150,0	150,0	Negativo
	50,0	210,0	43,0	Negativo

Tabla 27. Análisis microbiológicos realizados a las mezclas biosólidos-suelo aplicando diferentes tratamientos.

Especie	Conc. de biosólido (%)	Trat. Acido.		Trat. Alcalino		Trat. Bisulfito	
		Col. Tot. (NMP)	Col. Fec. (NMP)	Col. Tot. (NMP)	Col. Fec. (NMP)	Col. Tot. (NMP)	Col. Fec. (NMP)
	10,0	7,0	N,D,	7,0	N. D.	7,0	N. D.
	20,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
	30,0	9,0	7,0	9,0	7,0	9,0	7,0
	40,0	14,0	9,0	28,0	15,	28,0	14,0
	50,0	43,0	15,0	93,0	43,0	75,0	43,0
	Sorgo grano DK-780	10,0	7,0	7,0	7,0	N. D.	7,0-
20,0		9,0	7,0	7,0	7,0	9,0	9,0
30,0		14,0	9,0	9,0	7,0	28,0	14,0
40,0		28,0	23,0	15,0	9,0	43,0	28,0
50,0		75,0	43,0	75,0	43,0	75,0	43,0
Maiz Hualahuisés	10,0	7,0	N,D,	7,0	N. D.	7,0	N. D.
	20,0	9,0	7,0	9,0	7,0	9,0	7,0
	30,0	23,0	15,0	15,0	9,0	28,0	14,0
	40,0	45,0	23,0	28,0	15,0	43,0	28,0
	50,0	93,0	43,0	75,0	43,0	150,0	75,0
<i>Leucaena leucocephala</i>	10,0	7,0	N,D,	7,0	N. D.	9,0	7,0
	20,0	7,0	7,0	9,0	7,0	14,0	7,0
	30,0	9,0	7,0	15,0	9,0	28,0	14,0
	40,0	14,0	9,0	43,0	28,0	43,0	28,0
	50,0	43,0	28,0	75,0	43,0	150,0	75,0
<i>P. pallens</i>	10,0	7,0	N,D,	7,0	N, - D,	9,0	7,0
	20,0	7,0	N. D.	9,0	7,0	14,0	14,0
	30,0	9,0	7,0	15,0	9,0	43,0	28,0
	40,0	23,0	14,0	43,0	28,0	75,0	43,0
	50,0	75,0	43,0	75,0	43,0	75,0	43,0
<i>P. ebano</i>	10,0	7,0	N. D.	7,0	7,0	14,0	9,0
	20,0	7,0	7,0	9,0	7,0	28,0	14,0
	30,0	9,0	7,0	14,0	9,0	43,0	43,0
	40,0	45,0	28,0	43,0	43,0	150,0	75,0
	50,0	93,0	45,0	150,0	75,0	210,	150,0

Nota: N.D. : No detectados

Los resultados de *Salmonella* y *Shigella* fueron negativos en todas las concentraciones de biosólidos y en todos los tratamientos.

En relación a las tablas anteriores observamos que la muestra testigo presenta una cantidad más alta de microorganismos que en los tratamientos aplicados, resultando efectivos para reducir los niveles de contaminación microbiana además se observa que el incremento de microorganismos esta relacionado de manera proporcional a la cantidad de biosólido empleada.

## b) PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

### b.1) Conductividad.

En cuanto a la cantidad de iones libres contenidos en las mezclas al final del experimento se indica la tabla 28 en la cual se muestra el efecto de los tratamientos en las concentraciones probadas para cada una de las especies empleadas.

Tabla 28. Valores de conductividad obtenidos en las mezclas realizadas y tratadas para observar su efecto en las diferentes especies.

Especie	Conc. Biosólido %	Testigo $X \pm \sigma$	Trat. Acido $X \pm \sigma$	Trat. Alcalino $X \pm \sigma$	Trat. Bisulfuro $X \pm \sigma$
Sorgo Sugar sweet	00,0	206,70 $\pm$ 8,01			
	10,0	98,10 $\pm$ 5,27	112,18 $\pm$ 14,02	108,40 $\pm$ 9,95	95,10 $\pm$ 2,45
	20,0	103,10 $\pm$ 6,46	138,40 $\pm$ 7,43	106,30 $\pm$ 2,26	93,14 $\pm$ 4,77
	30,0	114,50 $\pm$ 7,27	158,70 $\pm$ 5,80	96,40 $\pm$ 2,37	106,8 $\pm$ 5,21
	40,0	136,40 $\pm$ 3,97	190,60 $\pm$ 5,38	98,30 $\pm$ 3,86	104,60 $\pm$ 3,46
	50,0	154,70 $\pm$ 8,42	207,40 $\pm$ 5,69	90,10 $\pm$ 2,97	112,16 $\pm$ 8,80
Sorgo DK-780	00,0	214,30 $\pm$ 8,06			
	10,0	96,14 $\pm$ 3,64	114,18 $\pm$ 4,25	102,10 $\pm$ 7,47	90,60 $\pm$ 3,14
	20,0	107,08 $\pm$ 4,24	136,10 $\pm$ 3,97	109,60 $\pm$ 4,63	88,30 $\pm$ 4,00
	30,0	118,16 $\pm$ 3,52	162,40 $\pm$ 3,90	97,80 $\pm$ 2,80	106,70 $\pm$ 2,35
	40,0	140,80 $\pm$ 4,12	201,60 $\pm$ 9,00	90,40 $\pm$ 2,12	109,40 $\pm$ 4,68
	50,0	162,10 $\pm$ 8,29	236,40 $\pm$ 9,28	84,20 $\pm$ 4,11	106,30 $\pm$ 4,76
Maíz Hualauises	00,0	226,70 $\pm$ 11,59			
	10,0	84,20 $\pm$ 6,75	67,80 $\pm$ 4,50	68,40 $\pm$ 4,32	90,30 $\pm$ 5,26
	20,0	91,60 $\pm$ 3,09	80,60 $\pm$ 4,72	72,10 $\pm$ 3,30	91,60 $\pm$ 3,28
	30,0	102,40 $\pm$ 5,49	92,10 $\pm$ 2,82	77,60 $\pm$ 3,00	101,40 $\pm$ 4,51
	40,0	106,90 $\pm$ 4,47	102,30 $\pm$ 6,08	74,20 $\pm$ 6,02	102,80 $\pm$ 3,44
	50,0	118,40 $\pm$ 11,38	114,30 $\pm$ 11,94	76,30 $\pm$ 8,01	117,40 $\pm$ 4,00
<i>Leucaena leucocephala</i>	00,0	198,00 $\pm$ 12,67			
	10,0	54,60 $\pm$ 4,63	68,10 $\pm$ 3,18	72,40 $\pm$ 4,83	60,40 $\pm$ 3,65
	20,0	54,90 $\pm$ 3,60	72,40 $\pm$ 2,83	76,80 $\pm$ 3,26	71,26 $\pm$ 2,56
	30,0	57,10 $\pm$ 3,65	89,10 $\pm$ 3,29	86,20 $\pm$ 3,84	78,40 $\pm$ 12,25
	40,0	89,20 $\pm$ 4,45	136,40 $\pm$ 3,82	148,60 $\pm$ 11,61	86,40 $\pm$ 3,92
	50,0	82,80 $\pm$ 4,98	148,90 $\pm$ 8,80	186,10 $\pm$ 6,62	87,30 $\pm$ 2,20
<i>Pithecellobium pallens</i>	00,0	178,00 $\pm$ 2,35			
	10,0	58,10 $\pm$ 3,45	64,70 $\pm$ 7,96	88,12 $\pm$ 4,28	78,30 $\pm$ 3,85
	20,0	59,60 $\pm$ 2,38	76,20 $\pm$ 4,00	96,14 $\pm$ 5,99	86,40 $\pm$ 3,86
	30,0	59,90 $\pm$ 1,98	96,40 $\pm$ 3,31	109,14 $\pm$ 6,01	98,70 $\pm$ 5,61
	40,0	60,80 $\pm$ 2,56	86,70 $\pm$ 4,03	140,60 $\pm$ 7,77	110,20 $\pm$ 3,41
	50,0	65,30 $\pm$ 7,54	110,40 $\pm$ 5,94	201,40 $\pm$ 5,09	109,14 $\pm$ 4,03
<i>Pithecellobium ebano</i>	00,0	187,00 $\pm$ 5,26			
	10,0	56,70 $\pm$ 6,40	61,20 $\pm$ 2,82	69,10 $\pm$ 2,50	63,15 $\pm$ 2,50
	20,0	57,10 $\pm$ 2,73	68,40 $\pm$ 3,77	76,40 $\pm$ 3,34	71,40 $\pm$ 3,34
	30,0	59,70 $\pm$ 3,79	72,80 $\pm$ 2,78	81,00 $\pm$ 2,43	83,10 $\pm$ 2,43
	40,0	70,10 $\pm$ 2,67	88,20 $\pm$ 3,90	86,00 $\pm$ 4,86	88,20 $\pm$ 4,86
	50,0	70,60 $\pm$ 3,59	16,80 $\pm$ 3,90	126,00 $\pm$ 5,81	86,10 $\pm$ 5,81

En cuanto a los tratamientos podemos deducir que el ácido, alcalino y bisulfito presentan una ligera diferencia con el testigo y también observamos que conforme se incrementa la concentración de biosólido se incrementa la conductividad excepto en la especie de *P. ebanum* en tratamiento ácido.

#### b.2) Potencial de hidrógeno

El valor del potencial de hidrógeno, muestra el favorecimiento de ciertas reacciones químicas y el desarrollo de determinadas especies, de forma general denotamos que a pesar de los diferentes tratamientos aplicados los valores de pH finales fluctúan en valores neutros entre 6.0-8.0, lo cual nos es indicativo de la estabilidad de las mezclas ya que presenta un cierto nivel de amortiguamiento debido a la presencia de las sales que forman la naturaleza del biosólido los resultados obtenidos se muestran en la tabla 29.

#### c) DETERMINACIÓN DE METALES

Para determinar el efecto de los metales en relación a las diferentes concentraciones de biosólidos se procede a evaluarlos de las mezclas con el fin de observar el transporte de estos a las especies vegetales, los datos obtenidos se muestran en la tabla 30.

### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

#### d) CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MEZCLA BIOSÓLIDO-SUELO FINAL

Se analiza de forma global las principales características de: fertilidad, macro y microelementos, metales esenciales para el desarrollo de las especies vegetales y metales tóxicos en las mezclas de diferentes cultivos.

Tabla 29. Resultados de potencial de hidrógeno obtenido de las mezclas al final del experimento, después de haber sido desarrolladas las diferentes especies vegetales.

<i>Especie</i>	<i>Conc. Biosolido %</i>	<i>Testigo X ± σ</i>	<i>Trat. Acido X ± σ</i>	<i>Trat. Alcalino X ± σ</i>	<i>Trat. Bisulfito X ± σ</i>
Sorgo Sugar sweet	00,0	7,86 ± 0,072			
	10,0	7,78 ± 0,076	6,07 ± 0,057	7,42 ± 0,063	7,42 ± 0,042
	20,0	7,68 ± 0,157	6,14 ± 0,039	7,49 ± 0,069	7,49 ± 0,050
	30,0	7,55 ± 0,04	6,15 ± 0,059	7,56 ± 0,051	7,56 ± 0,040
	40,0	7,48 ± 0,076	6,59 ± 0,071	7,68 ± 0,041	7,68 ± 0,050
	50,0	7,36 ± 0,039	6,80 ± 0,075	7,83 ± 0,060	7,83 ± 0,044
Sorgo DK-780	00,0	8,18 ± 0,033			
	10,0	7,86 ± 0,063	6,12 ± 0,034	7,40 ± 0,053	7,42 ± 0,047
	20,0	7,79 ± 0,097	6,18 ± 0,023	7,36 ± 0,070	7,83 ± 0,055
	30,0	7,62 ± 0,035	6,26 ± 0,049	7,30 ± 0,095	7,80 ± 0,119
	40,0	7,65 ± 0,039	6,46 ± 0,051	7,86 ± 0,099	7,94 ± 0,058
	50,0	7,42 ± 0,035	6,89 ± 0,046	7,97 ± 0,093	8,02 ± 0,074
Maiz Hualauises	00,0	8,20 ± 0,038			
	10,0	8,02 ± 0,056	7,01 ± 0,073	7,84 ± 0,052	7,79 ± 0,032
	20,0	7,96 ± 0,063	7,07 ± 0,054	7,75 ± 0,040	7,86 ± 0,056
	30,0	7,73 ± 0,052	7,18 ± 0,036	7,63 ± 0,043	7,91 ± 0,056
	40,0	7,40 ± 0,077	7,56 ± 0,085	7,47 ± 0,041	8,02 ± 0,115
	50,0	7,53 ± 0,071	7,78 ± 0,075	7,63 ± 0,038	8,18 ± 0,036
Leucaena leucocephala	00,0	7,14 ± 0,047			
	10,0	8,80 ± 0,038	6,80 ± 0,059	8,22 ± 0,026	6,24 ± 0,057
	20,0	8,23 ± 0,060	7,10 ± 0,039	8,43 ± 0,058	6,36 ± 0,047
	30,0	8,71 ± 0,060	6,92 ± 0,035	8,24 ± 0,046	6,06 ± 0,062
	40,0	6,80 ± 0,034	6,62 ± 0,050	8,63 ± 0,080	6,12 ± 0,050
	50,0	7,67 ± 0,060	6,46 ± 0,066	8,17 ± 0,047	6,00 ± 0,090
Pithecellobium pallens	00,0	7,45 ± 0,063			
	10,0	8,67 ± 0,050	6,48 ± 0,064	8,48 ± 0,078	6,18 ± 0,062
	20,0	7,74 ± 0,051	7,19 ± 0,065	8,56 ± 0,052	6,14 ± 0,041
	30,0	7,79 ± 0,042	7,02 ± 0,048	8,16 ± 0,035	6,38 ± 0,068
	40,0	8,80 ± 0,097	6,42 ± 0,052	8,20 ± 0,029	6,47 ± 0,055
	50,0	8,81 ± 0,097	6,38 ± 0,056	8,03 ± 0,060	6,56 ± 0,053
Pithecellobium ebano	00,0	7,25 ± 0,040			
	10,0	8,63 ± 0,061	6,14 ± 0,055	7,98 ± 0,082	6,21 ± 0,068
	20,0	8,45 ± 0,060	6,72 ± 0,047	8,00 ± 0,036	6,32 ± 0,062
	30,0	8,32 ± 0,081	6,85 ± 0,068	8,09 ± 0,069	6,24 ± 0,053
	40,0	8,50 ± 0,120	6,08 ± 0,047	8,15 ± 0,057	6,42 ± 0,059
	50,0	8,61 ± 0,083	6,23 ± 0,067	8,19 ± 0,060	6,25 ± 0,074

Tabla 30. Metales encontrados en las muestras de suelo donde se desarrollaron especies de cultivo básico.

<i>Especie/ Metales</i>	<i>Potasio K (ppm)</i>	<i>Boro B (ppm)</i>	<i>Molibdeno Mo (ppm)</i>	<i>Manganeso Mn (ppm)</i>	<i>Sodio Na (ppm)</i>	<i>Fosfóro P (ppm)</i>
Sorgo Sugar sweet	281,0	0,227	0,001	1,203	9,810	22,0
Sorgo DK-780	258,0	0,229	NA	1,391	9,970	20,0
Maiz	220,0	0,229	NA	1,410	9,246	24,0

Tabla 31. Análisis generales aplicados a suelos donde se emplearon especies de cultivos básicos.

<i>Determinación</i>	<i>Sorgo Sugar sweet (ppm)</i>	<i>Sorgo en grano DK-780 (ppm)</i>	<i>Maíz Hualauises (ppm)</i>
Nitrógeno	19,000	14,000	6,00
Fosforo	22,000	20,000	24,00
Potasio	281,000	258,000	220,00
Calcio	2003,987	2020,99	1816,987
Magnesio	50,785	51,045	43,895
Fierro	No detectado	No detectado	No detectado
Manganeso	< 1,203	1,391	1,410
Zinc	No detectado	0,0314	No detectado
Molibddeno	0,001	No detectado	No detectado
Boro	0,227	0,229	0,229
Cobalto	No detectado	0,0019	No detectado
Sodio	9,810	9,970	9,2460
Cadmio	0,006	0,0011	0,0011
Arsénico	No detectado	No detectado	No detectado
Bario	1,017	1,0450	0,959
Mercurio	No detectado	No detectado	No detectado
Cromo	No detectado	No detectado	No detectado
Níquel	No detectado	0,0210	No detectado
Plata	No detectado	No detectado	No detectado
Plomo	No detectado	No detectado	No detectado
Selenio	No detectado	No detectado	No detectado
Cobre	0,0006	0,013	0,002

Nota: Todas las concentraciones se expresan en ppm.

N. D.: No detectado

Es importante señalar que la cantidad de nitrógeno disponible en relación a la inicial es superior, así mismo la cantidad de P y K disminuyen de una manera notable podría ser debido a las reacciones microbianas presentes en la flora del suelo. Por lo que respecta a la concentración de macro y microelementos el manganeso incrementa su concentración debido probablemente a la

fotosíntesis y reacciones que ocurren en la raíz aunque su valor inicial fue de 0,823 ppm, por lo que respecta al Zn observamos que su valor decrece hasta 0,089 ppm donde a excepción del sorgo DK-780 (Valor 0,0314 ppm) y en las otras especies no fue detectado.

Por lo que corresponde a metales tóxicos como As, Hg, Cr, Ni, Ag, Pb, y Se se encontraron valores por abajo del límite de detección del método y solo se pudo cuantificar el Ni en el sorgo DK-780 sin embargo su valor fue despreciable (0.0210 ppm).

## 8. ANÁLISIS DE LAS ESPECIES VEGETALES

### a) *CRECIMIENTO FINAL (ALTURA)*

El desarrollo de las especies depende del tipo de cultivo y tiempo de desarrollo del mismo en la tabla 32 se muestra el efecto del biosólido y los tratamientos aplicados a las mezclas.

### b) *PRODUCCIÓN (BIOMASA)*

Un parámetro de medición de desarrollo es la biomasa la cuál depende de la altura, número de ramas y de la especie en la tabla 33 se muestran los valores de biomasa obtenidos en los diferentes tratamientos.

Además en relación a biomasa consideramos el efecto de los tratamientos restando al testigo para observar un cambio positivo o negativo en cuál se muestra en la tabla 34.

Tabla 32. Efecto de los diferentes tratamientos en diversas concentraciones de biosólido relacionandolas con el testigo en las especies vegetales probada.

<i>Especie</i>	<i>Conc. Biosolido %</i>	<i>Diferencia del trat. ácido</i>	<i>Diferencia del trat. alcalino</i>	<i>Diferencia del trat. bisulfito</i>
Sorgo Sugar sweet	0,0			
	10,0	+ 6,00	+ 4,00	- 6,00
	20,0	+ 12,00	+ 4,00	- 3,00
	30,0	+ 15,00	+ 3,00	0,00
	40,0	+ 2,00	- 1,00	- 4,00
	50,0	+ 3,00	+ 1,00	- 2,00
Sorgo DK-780	00,0			
	10,0	+ 18,00	+ 11,00	- 1,00
	20,0	+ 16,00	+ 10,00	- 10,00
	30,0	+ 19,00	+ 12,00	- 1,00
	40,0	- 2,00	+ 4,00	- 4,00
	50,0	+ 4,00	- 1,80	- 4,00
Maiz Hualauises	00,0			
	10,0	+ 3,80	+ 1,80	- 2,50
	20,0	+ 16,30	+ 3,00	- 5,70
	30,0	+ 31,50	+ 13,20	+ 1,00
	40,0	+ 13,50	+ 11,90	+ 4,10
	50,0	+ 14,30	+ 11,70	- 0,90
<i>Leucaena leucocephala</i>	00,0			
	10,0	+ 5,10	+ 9,10	- 2,90
	20,0	+ 10,00	+ 18,00	- 8,00
	30,0	- 26,45	+ 10,15	- 40,55
	40,0	+ 1,25	+ 21,25	- 16,45
	50,0	- 6,51	- 0,71	- 20,61
<i>Pithecellobium pallens</i>	00,0			
	10,0	- 15,40	- 3,25	- 9,00
	20,0	- 9,87	+ 8,79	- 3,27
	30,0	- 13,72	+ 3,68	- 12,06
	40,0	----	----	----
	50,0	- 5,85	- 11,95	- 14,15
<i>Pithecellobium ebano</i>	00,0			
	10,0	+ 0,10	- 2,10	----
	20,0	+ 3,90	+ 0,30	----
	30,0	----	- 2,20	+ 1,80
	40,0	----	----	----
	50,0	----	----	----

Tabla 33. Resultados de biomasa (g) obtenidos de las especies vegetales cultivadas en diferentes concentraciones de biosólidos y la aplicación de tratamientos.

<i>Especie</i>	<i>Conc. Biosolido %</i>	<i>Testigo X ± σ</i>	<i>Trat. Acido X ± σ</i>	<i>Trat. Alcalino X ± σ</i>	<i>Trat. Bisulfito X ± σ</i>
Sorgo Sugar sweet	00,0	11,40 ± 0,49	9,87 ± 0,13	10,01 ± 0,29	8,20 ± 0,21
	10,0	14,10 ± 0,51	21,60 ± 0,61	20,80 ± 0,75	13,10 ± 0,21
	20,0	18,10 ± 0,42	24,80 ± 0,76	21,60 ± 0,88	16,14 ± 0,48
	30,0	21,40 ± 0,93	29,36 ± 1,17	24,10 ± 0,54	22,60 ± 0,41
	40,0	9,85 ± 0,12	10,03 ± 0,15	9,40 ± 0,31	9,47 ± 0,35
	50,0	8,40 ± 0,25	8,63 ± 0,21	8,60 ± 0,31	8,23 ± 0,16
Sorgo DK-780	00,0	7,01 ± 0,15	9,56 ± 0,10	8,56 ± 0,12	6,48 ± 0,18
	10,0	8,22 ± 0,15	9,98 ± 0,17	9,98 ± 0,24	7,31 ± 0,21
	20,0	8,49 ± 0,09	14,36 ± 0,64	11,21 ± 0,17	7,16 ± 0,13
	30,0	9,35 ± 0,13	16,07 ± 0,08	17,63 ± 0,46	9,08 ± 0,13
	40,0	6,03 ± 0,11	7,08 ± 0,08	8,03 ± 0,10	6,61 ± 0,16
	50,0	5,04 ± 0,12	7,30 ± 0,09	7,92 ± 0,12	5,19 ± 0,23
Maíz Hualauises	00,0	21,10 ± 0,81	22,80 ± 1,45	24,80 ± 0,82	19,10 ± 0,46
	10,0	22,40 ± 0,48	29,60 ± 1,26	28,60 ± 1,50	20,20 ± 0,79
	20,0	23,10 ± 0,64	31,60 ± 1,08	32,60 ± 0,90	17,40 ± 0,38
	30,0	26,10 ± 0,31	35,80 ± 1,95	36,10 ± 0,52	27,60 ± 0,44
	40,0	11,40 ± 0,23	15,70 ± 0,45	16,40 ± 0,40	13,80 ± 0,44
	50,0	10,83 ± 0,34	14,60 ± 0,43	15,80 ± 0,39	11,90 ± 0,25
<i>Leucaena leucocephala</i>	00,0	5,60 ± 0,30	4,80 ± 0,12	4,90 ± 0,16	3,80 ± 0,11
	10,0	5,82 ± 0,09	5,62 ± 0,10	6,10 ± 0,04	5,40 ± 0,23
	20,0	6,00 ± 0,17	6,80 ± 0,09	7,06 ± 0,11	5,70 ± 0,10
	30,0	7,20 ± 0,20	5,76 ± 0,07	7,87 ± 0,10	4,80 ± 0,10
	40,0	5,20 ± 0,16	5,42 ± 0,10	6,90 ± 0,12	3,92 ± 0,13
	50,0	5,70 ± 0,13	4,80 ± 0,13	6,82 ± 0,06	3,76 ± 0,05
<i>Pithecellobium pallens</i>	00,0	2,88 ± 0,07	1,80 ± 0,06	2,90 ± 0,06	2,06 ± 0,10
	10,0	2,60 ± 0,13	2,08 ± 0,11	3,06 ± 0,05	2,90 ± 0,05
	20,0	2,53 ± 0,08	2,16 ± 0,04	3,23 ± 0,08	2,96 ± 0,08
	30,0	2,59 ± 0,11	2,18 ± 0,12	3,38 ± 0,04	2,76 ± 0,08
	40,0	---	1,98 ± 0,08	2,40 ± 0,05	1,88 ± 0,08
	50,0	1,96 ± 0,03	1,86 ± 0,09	1,96 ± 0,10	1,76 ± 0,04
<i>Pithecellobium ebano</i>	00,0	1,83 ± 0,06	1,48 ± 0,05	1,92 ± 0,05	-----
	10,0	1,92 ± 0,07	1,98 ± 0,06	1,86 ± 0,04	-----
	20,0	0,97 ± 0,05	1,76 ± 0,06	1,02 ± 0,06	-----
	30,0	0,80 ± 0,05	-----	0,62 ± 0,04	0,92 ± 0,04
	40,0	-----	1,63 ± 0,06	-----	0,60 ± 0,06
	50,0	-----	1,54 ± 0,05	0,83 ± 0,05	0,80 ± 0,07

Tabla 34. Biomasa (g) de las especies vegetales obtenidas en diferentes concentraciones de biosólidos después de varios tratamientos.

<i>Especie</i>	<i>Concentración de biosólido (%)</i>	<i>Tratamiento ácido</i>	<i>Tratamiento alcalino</i>	<i>Tratamiento bisulfito</i>
Sorgo sugar sweet	10,0	- 1,53	- 1,30	- 3,20
	20,0	+ 7,50	+ 6,70	- 1,0
	30,0	+ 6,70	+ 3,50	- 1,96
	40,0	+ 7,96	+ 2,70	+ 1,20
	50,0	+ 0,18	- 0,45	- 0,38
Sorgo grano DK-780	10,0	+ 1,76	+ 1,76	- 0,91
	20,0	+ 5,89	+ 2,72	- 1,33
	30,0	+ 6,72	+ 8,28	- 0,27
	40,0	+ 1,05	+ 2,00	+ 0,58
	50,0	+ 1,88	+ 2,50	- 0,23
Maíz Hualahuisés	10,0	+ 7,20	+ 6,20	- 2,20
	20,0	+ 8,50	+ 9,50	- 5,70
	30,0	+ 9,70	+ 10,00	+ 1,50
	40,0	+ 4,30	+ 5,00	+ 2,40
	50,0	+ 3,80	+ 5,00	+ 1,10
<i>Leucaena leucocephala</i>	10,0	- 0,20	+ 0,28	- 0,42
	20,0	+ 0,80	+ 0,26	- 0,30
	30,0	- 1,44	+ 0,67	- 2,40
	40,0	+ 0,22	+ 1,70	- 1,28
	50,0	- 0,90	+ 1,12	- 1,84
<i>Pithecellobium pallens</i>	10,0	- 0,52	+ 0,46	+ 0,30
	20,0	- 0,38	+ 0,70	+ 0,36
	30,0	- 0,41	+ 0,79	+ 0,17
	40,0	+	+	+
	50,0	- 0,10	0,00	- 0,20
<i>Pithecellobium ebano</i>	10,0	+ 0,06	- 0,06	-
	20,0	+ 0,79	+ 0,05	-
	30,0	-	- 0,18	+ 0,12
	40,0	+	0,00	+
	50,0	+	+	+

Considerando la tabla anterior se observa que el efecto positivo lo muestran los tratamientos ácidos y alcalinos, sin embargo el tratamiento de bisulfito casi en su totalidad presenta un efecto negativo.

### c) METALES

La presencia de metales en las plantas es importante debido a que algunos son indispensables para su desarrollo, así mismo la presencia de exceso de otros provoca daños en las especies, los resultados de metales obtenidos en las especies se muestran en la tabla 35. En la muestra testigo.

Tabla 35. Metales encontrados en plantas en la muestra de suelo sin tratamiento.

<i>Especie</i>	<i>Potasio</i> <i>K (ppm)</i>	<i>Boro</i> <i>B (ppm)</i>	<i>Molibdeno</i> <i>Mo (ppm)</i>	<i>Manganeso</i> <i>Mn (ppm)</i>	<i>Sodio</i> <i>Na (ppm)</i>	<i>Fósforo</i> <i>P (ppm)</i>
Sorgo Sugar sweet	135,60	N. D.	0,133	4,251	7,261	-----
Sorgo DK-780	277,40	N. D.	0,066	1,413	5,018	11,030
Maíz Hualauises	110,70	N. D.	0,031	36,376	11,560	17,250
<i>Leucaena</i> <i>leucocephala</i>	16391,43	47,85	18,34	6,26	77,06	2571,86
<i>Pithecellobium</i> <i>pallens</i>	12790,69	25,0	14,65	12,90	158,83	2310,46
<i>Pithecellobium</i> <i>ebano</i>	3302,50	-----	-----	202,91	9912,50	-----

Nota: N. D. : No detectado

Estos nos indican unas diferencias entre las especies de cultivo básico y de zonas áridas, mostrando valores más altos en los últimos, debido a la naturaleza de las especies. Ahora bien con respecto a las concentraciones de K la especie de sorgo DK- 780 muestra una concentración de 277,40 ppm con respecto a la del sorgo Sugar sweet y maíz sus valores son más bajos. Por lo que respecta al B no se detecta en estos cultivos, sin embargo el Mo, Mn, Na, P se encuentra en la variedad de sorgo Sugar sweet más alto que en el híbrido.

Estudios realizados en diferentes proporciones de biosólido analizados en cultivos arbustivos indicados en la tabla 36, nos muestra el efecto de la concentración del lodo en las diferentes especies.

Tabla 36. Metales en diferentes proporciones de biosólidos de especies arbustivas.

<i>Especie</i>	<i>Conc. % Biosólido</i>	<i>Potasio K (ppm)</i>	<i>Boro B (ppm)</i>	<i>Molibdeno Mo (ppm)</i>	<i>Manganeso Mn (ppm)</i>	<i>Sodio Na (ppm)</i>	<i>Fosforo P (ppm)</i>
<i>Leucaena</i>	00,0	16391,43	47,85	18,34	6,26	77,06	2571,86
<i>leucocephala</i>	10,0	29441,41	43,59	4,08	51,22	324,93	2016,34
	20,0	24660,80	43,34	4,14	74,87	108,29	2236,18
	30,0	-	-	-	-	-	-
	40,0	19133,33	38,77	3,88	55,11	71,55	2164,44
	50,0	24017,34	54,33	3,17	94,22	447,54	3154,62
<i>Pithecellobium pallens</i>	00,0	12790,69	25,0	14,65	12,90	158,83	2310,46
	10,0	12442,89	23,81	3,06	52,22	101,39	2756,26
	20,0	13337,56	18,02	2,15	56,47	87,05	3776,65
	30,0	15302,32	21,16	3,14	48,95	107,32	3802,32
	40,0	-	-	-	-	-	-
	50,0	15302,32	18,33	3,22	87,0	566,33	6524,44
<i>Pithecellobium ebano</i>	00,0	3302,50	-	-	202,91	992,50	-
	10,0	4190,84	-	-	225,57	367,17	-
	20,0	4618,67	-	-	191,05	788,71	-
	30,0	3840,45	-	-	163,23	292,73	-
	40,0	3081,75	-	-	139,64	362,80	-
	50,0	3298,96	-	-	167,78	318,55	-

#### d) MICRO Y MACROELEMENTOS

Los elementos analizados son esenciales en la función de la fotosíntesis que se lleva a cabo en las plantas consideramos a los principales metales y observamos al final del experimento los siguientes resultados mostrados en la tabla 37

Tabla 37. Micro y macroelementos encontrados en plantas en la muestra de suelo sin tratamiento.

Especie	Macroelementos		Microelementos		
	Calcio Ca (ppm)	Magnesio Mg (ppm)	Cobre Cu (ppm)	Fierro Fe (ppm)	Zinc Zn (ppm)
Sorgo Sugar sweet	192,318	95,134	0,307	58,471	1,872
Sorgo DK-780	45,978	50,104	0,298	1,221	0,436
Maíz Hualauises	97,048	35,954	0,030	4,570	0,779
<i>Leucaena leucocephala</i>	-----	2215,590	7,030	210,240	56,260
<i>Pithecellobium pallens</i>	-----	2325,580	7,670	207,790	57,900
<i>Pithecellobium ebano</i>	-----	3357,080	392,910	-----	3479,160

En relación a lo anterior notamos que en las plantas de zonas áridas los valores de macro y microelementos son superiores debido a la naturaleza de las especies, de hecho notamos que estas absorben una mayor cantidad de metales, sistema que pudiese servir para contrarrestar contaminaciones de suelos.

Considerando los resultados emitidos por las especies arbustivas nos enfocamos en particular a cada una de las diferentes concentraciones de biosólidos en la tabla 38 se muestra el contenido de macro y microelementos de estas especies.

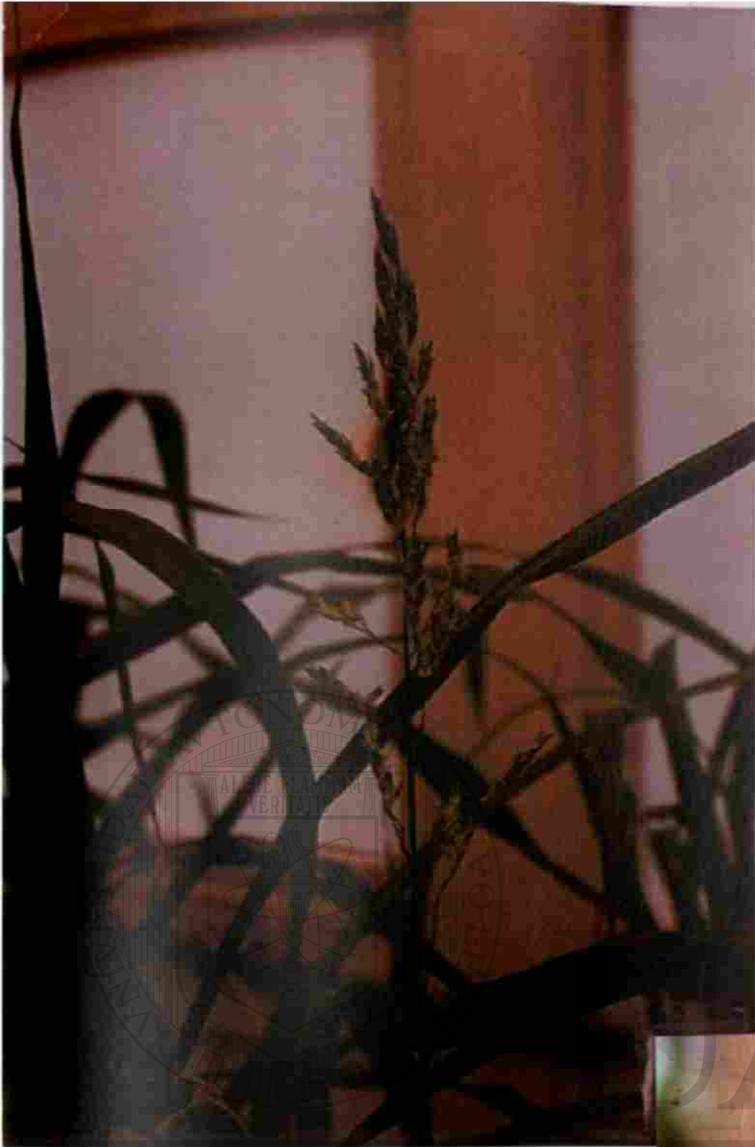
En relación a lo anterior observamos que la concentración de macroelementos es superior en las especies de *P. ebano* y que la concentración del 50% de biosólido representa el nivel más elevado, por lo que respecta a los microelementos su comportamiento es similar a los macro, ya que la especie de *ebano* encabeza la lista, sin embargo por lo que concierne a *L. leucocephala* y *P. pallens* entre ellas no se muestran diferencias.

Tabla 38. Macro y microelementos en especies de zonas áridas en diferentes proporciones de biosólidos.

Especie	Conc. % Biosólido	Macroelementos		Microelementos		
		Calcio Ca (ppm)	Magnesio Mg (ppm)	Cobre Cu (ppm)	Fierro Fe (ppm)	Zinc Zn (ppm)
<i>Leucaena leucocephala</i>	00,0	/	2215,59	7,03	210,24	56,26
	10,0	/	2465,94	3,81	398,22	177,38
	20,0	/	2648,24	4,64	139,57	36,55
	30,0	/	-	-	-	-
	40,0	/	2043,33	5,00	126,77	31,33
	50,0	/	2913,29	6,06	300,57	80,20
<i>Pithecellobium pallens</i>	00,0	/	2325,58	7,67	207,79	57,90
	10,0	/	2576,60	3,20	99,72	30,50
	20,0	/	2364,21	3,42	88,75	30,07
	30,0	/	2554,65	0,05	243,37	42,20
	40,0	/	-	-	-	-
	50,0	/	3065,55	5,88	442,11	59,11
<i>Pithecellobium ebano</i>	00,0	/	3357,08	392,91	-	3479,16
	10,0	/	5110,68	19,84	-	258,01
	20,0	/	5210,11	29,96	-	295,33
	30,0	/	4114,24	8,54	-	100,28
	40,0	/	3761,4	100,0	-	767,36
	50,0	/	3536,08	37,11	-	382,99

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**Foto 1.-** Espiga obtenida de la especie de Sorgho Sugar sweet al termino del estudio.

**Foto 2.** Espiga producida por la especie Sorgho DK-780 a los 3 meses.





Foto 3. Planta de maíz obtenidas en las mezclas con biosólidos.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Foto 4. Plantas de *L. leucocephala* obtenidas a las 8 semanas en el mejor tratamiento.

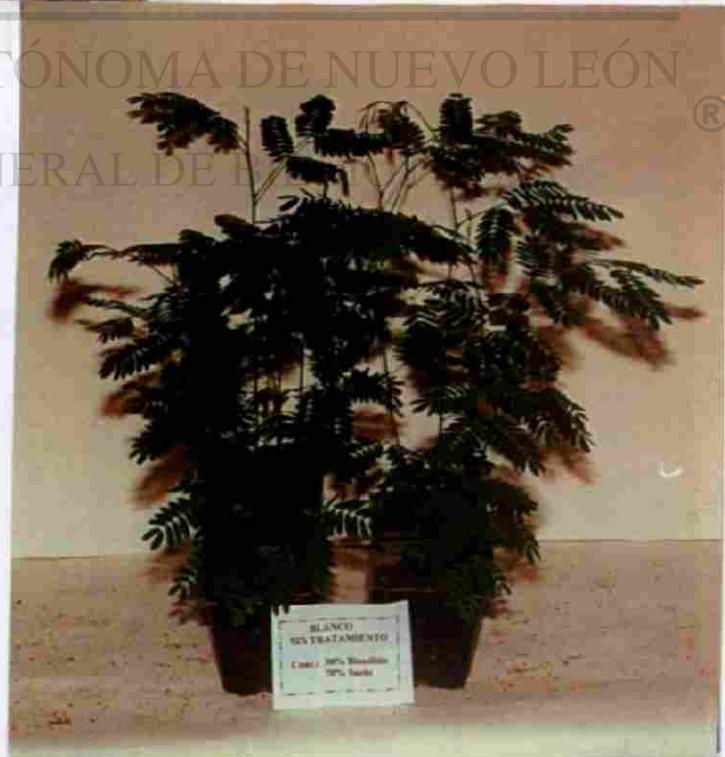
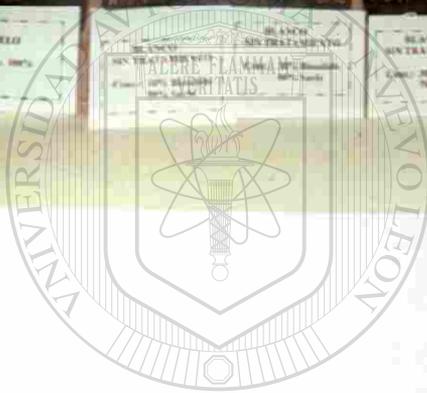




Foto 5. Especie de *P. pallens* obtenidas en diferentes proporciones de biosólidos.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Foto 6. Plantas de *P. ebano* a las

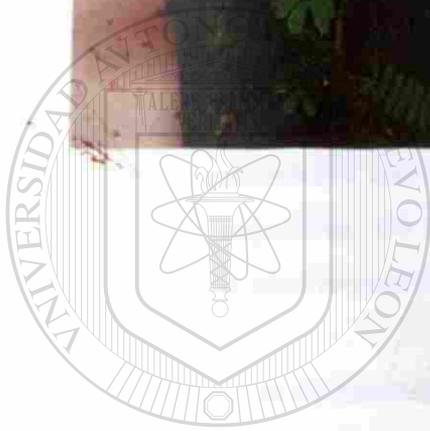
8 semanas

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





**Foto 7. Planta que presenta el efecto de clorosis.**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIOTECNOLOGÍA

**Foto 8. Biosólido seco y almacenado en bolsas**



## DISCUSION

De acuerdo a los resultados obtenidos del biosólido determinamos que casi en un 80% el contenido es de agua y solo el 20% corresponde a sólido del biosólido, debido a la naturaleza del mismo se procedió a caracterizar, sin embargo los análisis del CRETIB correspondiente a pruebas de Corrosividad, Reactividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico Infeccioso cumple con las cantidades mínimas, ya que no sobrepasa los límites máximos permitidos, los cuales nos permite considerarlo como un residuo no peligroso en base a la norma NOM-CRP-052 y 053 - ECOL 1993, una vez aceptada su utilización se procede a caracterizar en base a pruebas agrícolas, como: presencia de metales, pruebas de fertilidad y carga bacteriana.

En relación a la presencia de metales observamos solo presencia de algunos como Mn 0,823 ppm, Zn 0,089 ppm y por lo que respecta al Cu y Fe no se detecto presentándose en valores muy bajos, en comparación con el suelo agrícola a excepción del manganeso Mn las cantidades encontradas son superiores. De acuerdo a lo anterior podemos considerar que el biosólido no representa ninguna interferencia ya que valores reportados encontrados en el suelo es superior.

Los análisis de fertilidad del biosólido nos indican que el contenido de materia orgánica, la cantidad de minerales libres, el P y K se encuentran en elevadas concentraciones comparándolas con el contenido de suelo agrícola, esto se asocia a que el biosólido presenta procesos aeróbicos, el contenido de P y materia orgánica disponible es relacionado con la concentración existente en los fertilizantes comerciales que estiman un contenido de cerca del 40%, las altas concentraciones ayudan de manera que estos no serán considerados reactivos limitantes si no que dejaran que las especies cultivadas tomen la cantidad que necesiten.

Estudios realizados en la Universidad de Washington indican que la aplicación de biosólidos en suelos produce efectos benéficos en las especies ya que incrementan la capacidad de retener el agua y los nutrientes, además de favorecerlo ya que proporcionan de forma adicional materia orgánica y minerales.

Por lo que se refiere al N las cantidades son similares ( suelo: 5,0 ppm y biosólido: 7,00 ppm) valores que no suplieran la cantidad requerida para los cultivos y quizá se requiera la otra fuente. (OMAFRA, 1998).

Los elementos esenciales los agrupamos en dos grupos los macro que comprenden Ca y Mg y los microelementos Ca, Fe, Zn en el biosólido el contenido de Fe y Cu es muy bajo debido a que no fue determinado por el método; en comparación con el suelo su contenido de Fierro fue de 0,669 ppm y el de Cu no detectado por lo que respecta al Zn el suelo presento 0,211 ppm y el biosólido 0,089 ppm por último el Mn fue superior en el lodo 2,4 veces mayor. En general este contenido no marca una ventaja relevante con el suelo por el contenido de elementos, así con tampoco un problema por la utilización del mismo con relación a los valores reportados en normas tabla 1 y 2 no representa problemática la utilización de los mismos.

Por otra parte los análisis microbiológicos del biosólido solo indican presencia de microorganismos coliformes fecales y totales de 42.000 NMP/g en biosólido húmedo valor que de acuerdo a la norma EPCFR parte 503 nos indica que representa un riesgo para la salud de la población ya que estima valores menores a 1000 NMP y para *Salmonella* 3 NMP por 4 g de sólidos totales, sin embargo después del secado y molido del lodo obtuvimos valores de 760NMP/g para coliformes totales y 640 NMP/g para coliformes fecales logrando con este procedimiento una reducción del 98,10% de estos microorganismos, por lo que se refiere al contenido de *Salmonella* no representa riesgo debido a que no es detectada, en cuanto a la determinaciones de *Shigella* y huevos de helmintos los resultados fueron negativos, ellos se realizaron para hacer más completa la caracterización. Es importante destacar que el contenido de carga microbiana es dependiente de la fuente de donde procede, es decir del tipo de agua residual tratada y del proceso de desinfección de la misma, que en este caso resulto eficiente.

El suelo empleado de acuerdo a la literatura es del tipo Feozen Calcárico-Castañozen Háptico, el cuál es característico de zonas semiáridas o de climas de transición, representa un alto contenido de nutrientes y materia orgánica, es por ello considerado como bueno para el desarrollo de cultivos así como su alta fertilidad. Este tipo de suelo es típico de la región de acuerdo a su

clima y se emplea en la agricultura para cultivos de riego temporal, beneficia a los cultivos de granos, hortalizas y legumbres además de pastizales y matorrales. (Carmona-Ruiz. 1989).

En cuanto a los metales observamos que para el biosólido el contenido de Cd < 0,002 ppm, Cr < 0,500 ppm, Hg < 0,0002 ppm, Ni 0,086 y Pb < 0,012 ppm son menores que para el suelo quien presento para Cd 0,01 ppm, Cr 16,00 ppm, Hg 0,07 ppm, Ni 7,40 ppm y Pb 31,57 ppm; sin embargo ninguno presento valores altos permisibles reportados por la EPA parte 503 para suelo (Cu: 4.300 ppm; Zn: 7.500 ppm, Cd: 85,0, Ni: 420,0 ppm, Pb: 840,0 ppm y Hg 57,0 ppm). En cuanto al cromo (Cr) éste fue eliminado de la regulación (Sieger R. 1999). Sin embargo esta norma nos rige debido a que en México no existe ninguna regulación a este respecto ya que somos pioneros en esta área la cuál apenas se incursiona.

Por lo que respecta a las especies vegetales, estudiamos 2 tipos: Especies básicas (sorgo y maíz) y especies de zonas áridas (*Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium pallens* y *Pithecellobium ebano*). En cuanto a los cultivos básicos sus ensayos de germinación resultaron satisfactoriamente altos cercanos al 90%, considerando que no se le dio ningún tratamiento adicional y se trataba de semillas comerciales, por lo que respecta a las especies de zonas áridas estas presentaron resultados muy diversos pudiese estar relacionado con los tiempos de recolección de los mismos, además cabe mencionar que estas semillas presentaron tratamientos de limado y corte de testa el cuál fue satisfactorio para la mayoría de las mismas, la selección de estas especies la representaron aquellas del que porcentaje de germinación fueron más altos, que también se pueden asociar a tiempos de recolección y conservación menores. En cuanto a su sobrevivencia ya en las mezclas de biosólido podemos decir que en las especies de cultivo básico se observo de forma general mejor desarrollo, sin embargo los porcentajes de sobrevivencia más altos lo presentan los sorgos y la especie de *Leucaena* Tabla 22 y 23.

En cuanto a las mezclas de biosólido - suelo podemos destacar que se relacionaron porciones de 0 a 100% de biosólido, sin embargo en concentraciones superiores al 50% observamos problemas de transporte de agua y presencia de insectos sobresaliendo larvas de moscos (muscidae), para la eliminación del problema de irrigación se procedía a adicionar perlas inertes de CaCO<sub>3</sub> en concentraciones de 30% volumen con respecto al volumen del biosólido, sin

embargo en porciones del 60% de biosólido en adelante esta inclusión era muy alta y se consideraba no representativa, mostrando resultados efectivos hasta la dosis de 50%, el segundo problema de la presencia de insectos se asocia a la excesiva cantidad de materia orgánica la cuál resultaba atrayente para los insectos, además representa una buena fuente de alimento para los microorganismos. Como consecuencia de lo anterior se observó que en concentraciones altas de biosólidos las semillas sembradas al poco tiempo presentaban putrefacción, asociando este efecto a la producción de gases debido a un metabolismo anaerobio, lo cuál provoca una intoxicación ocasionada por el desarrollo de microorganismos como bacterias, nematodos y fitopatógenos que representan los más comunes para este sustrato (Academia Nacional de Ciencia).

Las bacterias coliformes en las mezclas se encuentran en bajos niveles, inferiores a los permitidos EPA parte 503 incluso en la concentración más alta la del 50% la cantidad de coliformes totales es de 220 NMP/g, sin embargo estos valores se reducirán al aplicar los tratamientos químicos, motivo por el cuál serán aplicados, además de observar el efecto del pH; este esta asociado a favorecer cierto tipo de reacciones, además de que permite la eliminación de iones dependiendo del tipo de carga (positivo o negativo) como ocurre en el tratamiento alcalino el cuál elimina metales formando compuestos hidróxido ya que elimina elementos de carga positiva desarrollando compuestos solubles y eliminados en la misma agua, por lo que respecta al tratamiento ácido este elimina cargas negativas formando compuestos ácidos, los cuales son diluidos en líquidos que pueden disolverlos y ponerlos en contacto con otros que interactúan y forman quelantes u otros compuestos. En lo que se refiere al tratamiento de bisulfito este se aplica con el fin de reducir la materia orgánica disminuyendo el efecto que pueda tener este exceso como es la atracción de insectos, proliferación de microorganismos, principalmente bacterias, además de reducción de materia orgánica e inorgánica como se muestra en la tabla 21.

La sobrevivencia de las semillas durante el estudio es buena considerando que a excepción de la especie de *P. ebanum* los demás obtuvieron resultados superiores al 50% en todas las concentraciones de biosólido, aunque cabe señalar que hasta la proporción del 30% se obtienen excelentes resultados cercanos al 91% de sobrevivencia; En la concentración de 40 y 50% de biosólido decrece drásticamente quizás se deba a que el contenido de nutrientes así como tóxicos estén en altas dosis que lejos de producirse un beneficio provoquen interferencias. La diferencia de

esta especie puede asociarse en primer lugar a que las especies arbustivas son más requisitasas para el desarrollo que la especie de *ebano* presenta una cubierta más rígida por lo cuál sus tratamientos de escarificación son muy fuertes puede dañar al embrión, también es importante considerar el tiempo de recolección de la semilla y las condiciones del almacenaje como refrigeración en la que la concentración más baja del porcentaje de sobrevivencia es de 66,6 % y en la más baja de 22,2% en la muestra sin tratamiento. La sobrevivencia de las especies vegetales en las mezclas de suelo, fue alta a excepción del *P. ebano*.

Por lo que respecta a las especies arbustivas *Leucaena leucocephala* en las concentraciones de 0,0 a 40,0 % de biosólido los tratamientos ácidos, alcalino y testigo los porcentajes de sobrevivencia resultaron altos superiores al 77,7 %, en el testigo en la concentración del 50% se presento el valor más bajo y este fue de 77,0 %, así como para el tratamiento ácido el valor reportado es de 66,5 % y para el alcalino de 55,5 %.

En cuanto a tratamiento con bisulfito los valores son muy bajos inferiores al 50%, donde se obtienen los mejores resultados fueron las porciones de 40 y 50%. El comportamiento de *P. pallens* en el testigo fue similar que el anterior solo que en la inclusión de 40% no se desarrollo por lo tanto se analizaron características fisicoquímicas de la mezcla de la concentración de 0 a 30% para tratamiento ácido y alcalino el valor encontrado es de 88,8% y en las proporciones de 40 y 50% de lodo es de 55,0%. En el tratamiento oxidativo sigue el mismo patrón que la especie *Leucaena leucocephala*.

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La especie de *P. ebano* presenta un desarrollo irregular este se observa en los tratamientos ácido, alcalino y más marcadamente en la aplicación de bisulfito, en las mezclas sin tratamiento se observo que en la dosis de 0 – 30% de biosólidos, los valores encontrados fluctúan de 55,5 a 66,6% y en concentraciones superiores este valor disminuye de 33,3 y 22,2 %; en el tratamiento ácido se encuentran valores de 33,3% en todas las concentraciones excepto el 30% de lodo donde no se desarrollo; en el tratamiento alcalino se observa que conforme se incrementa la cantidad de biosólido se disminuye el porcentaje de sobrevivencia de 33,3 a 11,1%, y en la concentración del 40% del biosólido no se observo crecimiento; en el tratamiento oxidativo solo se observó

presencia de la especie en las concentraciones de 30 a 50% de lodo y este resultado alto en comparación con los demás tratamientos el cual dio un valor de 77,8% de sobrevivencia.

En cuanto a la relación del desarrollo del crecimiento de las especies donde comparamos alturas (cm) con respecto al tiempo observamos una enorme dependencia la una sobre la otra, el grado de correlación de ellas es muy alto superior al 0,86 mostrando valores más altos las especies arbustivas y los niveles más bajos se encontraron en las concentraciones de 40 y 50%, en la especie de maíz (tabla 24 y 25) donde se muestra que el crecimiento aunque lento en algunos casos sigue siendo progresivo.

En las mezclas finales una vez desarrolladas las especies se determinaron análisis microbiológicos en los cuales el contenido de microorganismos coliformes que estuvieron presentes en los diferentes tratamientos disminuyeron, de acuerdo a como se incrementa la concentración de biosólido aumentando la cantidad de bacterias presentes ya que esta relacionada directamente en el biosólido y además al contenido de materia orgánica que sirve de sustrato, las cantidades mínimas encontradas fueron de 7,0 NMP/g las cuales alcanzan las concentraciones de 10 y 20% de residuo, fenómeno que se observa en las especies arbustivas y en el sorgo sugar sweet en cualquiera de los 3 tratamientos, por otra parte en el sorgo en grano se encuentra que en la concentración del 10% de desecho en todos los tratamientos aplicados y en el tratamiento alcalino al 20%. Los niveles más altos para las especies de cultivo básico son de 75,0 , 93,0 y 150,0 NMP/g y para las especies de zonas áridas de 75,0 , 150,0 y 210,0 NMP/g, valores que no sobrepasan lo permitido por las normas.

En cuanto a la especie de sorgo sugar sweet el tratamiento ácido es el que presento en la concentración más alta el valor mas bajo reportando 43,0 NMP/g, seguido del tratamiento de bisulfito 75,0 NMP/g, para la especie de sorgo híbrido todos los tratamientos presentaron el mismo efecto reportando 75,0 NMP/g; Por lo que se refiere al maíz este presenta un orden creciente que comprende primero al tratamiento alcalino, seguido del ácido y finalmente el bisulfito. Por lo que respecta a las especies de zonas áridas el tratamiento ácido presento los valores más bajos, luego el alcalino y por último el bisulfito quien mostró las mayores cantidades.

La conductividad, la cual la relacionamos con la cantidad de iones libres presentes en la mezcla de suelo-biosólido, se encuentra que en el suelo sin biosólido el contenido es superior ya que los valores que registra van de 178,0 a 226,7 micromhos/cm ( $\mu\text{mhos/cm}$ ), notamos además que las especies de cultivo básico en las muestras sin tratamiento (testigo) presentan valores uniformes de incremento conforme aumenta el biosólido, por lo que respecta al tratamiento ácido se observan valores superiores que el testigo excepto en la especie de maíz, el tratamiento alcalino para los sorgos se observa un efecto invertido ya que en las concentraciones más elevadas los valores disminuyen y en la especie de maíz sus valores no varían se encuentran en el mismo rango (cerca de 70,0 micromhos/cm), el efecto del bisulfito presenta un valor similar al testigo, solo que los niveles de las concentraciones superiores fluctúan de 1056,3 – 117,4 micromhos/cm.

Por lo que se refiere a las especies de zonas áridas, en la muestra de suelo se presentan valores superior a 170,0  $\mu\text{mhos/cm}$  en las mezclas sin tratamiento; para la especie de *L. leucocephala* y *P. ebano* se observa que conforme aumenta la porción del biosólido se incrementa el número de iones libres pero estos valores son inferiores a las especies de cultivo básico de 70 – 90% de biosólido, *P. pallens* no presenta variaciones en sus diferentes concentraciones ya que en todas ellas reporta valores cercanos a los 60,0  $\mu\text{mhos/cm}$ . En el tratamiento ácido las especies arbustivas a excepción de la concentración del 50% presentan un incremento de iones conforme aumenta la cantidad de biosólido, solo en este último disminuye drásticamente efecto que se asocia con el no desarrollo de la especie *P. ebano*, pero aun así los resultados siguen siendo inferiores a las de cultivo básico. Por lo que compete al tratamiento alcalino y al bisulfito ambos presentan el mismo efecto que el ácido solo los valores más altos los presenta el tratamiento alcalino y los reportados por el bisulfito son similares al tratamiento ácido.

En lo que se refiere al pH se observa que las mezclas sin tratamiento para las especies de sorgo sugar sweet, sorgo DK-780, maíz Hualauises y *Leucaena leucocephala* presentan una ligera disminución conforme se incrementa el biosólido; Para la especie *P. pallens* el comportamiento anterior solo se observa a partir de la concentración del 30% de inclusión, y en las posteriores concentraciones se observa un incremento de hasta una unidad; en *P. ebano* su comportamiento es semejante en todas las concentraciones dando valores de 8,3 a 8,6. En las mezclas a las cuales se les aplico el tratamiento ácido en las especies de sorgo se reportan valores de 6,0 – 6,9, para las

especies de maíz de 7,0 – 7,8 y en las especies arbustivas su comportamiento es semejante de 6,1 – 7,1. Por lo que respecta al tratamiento alcalino las especies vegetales básicas presentan valores neutros cercanos al 7,0 y las áridas ligeramente alcalinos de 8.0; El tratamiento con bisulfito presenta valores ligeramente alcalinos de 7,0 – 8,0 para los cultivos básicos y ligeramente ácidos de 6,0 para las especies arbustivas.

La biomasa y la altura, estos parámetros dependen de la especie, considerando este presentaran diferencias en cuanto a su desarrollo, sin embargo a cada especie podemos compararla con los tratamientos y las concentraciones del biosólido que en cuanto a ello podemos decir que para la especie híbrida DK-780 la concentración de 30% de biosólido en los tratamientos ácido y alcalino presento 16,07 y 17,63g que representan los valores más altos de biomasa y las concentraciones de 40 y 50% en todos los tratamientos obtuvieron los valores más bajos. Por lo que corresponde al sorgo sugar sweet la concentración óptima donde se encontraron los mejores niveles corresponde al 30% de lodo, además observamos que valores igualmente altos seguidos de este lo presentan las concentraciones del 10 y 20% y los valores más bajos en orden decreciente se encuentran en las concentraciones de 40 y 50% de lodo; En cuanto a los tratamientos los encabezan primero el ácido, seguido del tratamiento alcalino. En la variedad de maíz representa los valores más altos ello depende del tipo de especie, comparando los tratamientos con el testigo, todos ellos presentan un efecto benéfico más que superan lo obtenido por este, ahora bien considerando a los tratamientos los representaremos al ácido y alcalino como aquellos que produjeron mejores resultados ( $35,80 \pm 1,95$  y  $36,10 \pm 0,52$  g) respectivamente, ambos representando la concentración del 30% de biosólido, cabe mencionar que el comportamiento de las concentraciones superiores es idéntico al de las especies de sorgo.

En relación a las especies de zonas áridas observamos que *L. leucocephala* en el tratamiento alcalino obtuvo resultados superiores en relación a los demás, sin embargo el tratamiento ácido y oxidativo no superaron al testigo lo cuál indica que no representa una buena alternativa, con respecto a la concentración la del 30% de biosólido es donde se generan los mejores resultados, por lo que se refiere al suelo agrícola este presentan los valores más bajos que en todos los tratamientos, demostrándose de esta manera que el biosólido representa un efecto positivo cuya mejoría se observa en mayor o menor grado dependiendo de las condiciones que se

forman siguiendo un comportamiento de curva e cual contiene un punto alto y este se localiza en la concentración del 30% del biosólido. En el género de *P. pallens* observan que el testigo en la concentración del 40% no se desarrolla y que al 50% su desarrollo es escaso similar al de las dos últimas concentraciones en todos sus tratamientos, notamos además que el tratamiento ácido no supera al testigo, sin embargo el tratamiento con bisulfito si lo mejoró, los resultados más altos fueron obtenido en el tratamiento alcalino, con referencia a las concentraciones podemos decir que de 10 – 30% de inclusión obtienen un buen desarrollo. En la especie de *P. ebano* observamos un desarrollo irregular, presentando un grado de mortalidad alto no guardando relación con una concentración especifica ya que en cada una de ellas se observa una muerte total inclusive en todos los tratamientos; En las mezclas sin tratamiento los valores superiores (1,83 y 1,92g) lo obtienen las concentraciones de 0 y 10 % de biosólido, seguido de las proporciones de 20 y 30% y en las concentraciones superiores esta especie ya no se desarrollo; En el tratamiento ácido no se muestra diferencia entre las concentraciones del biosólido excepto en el 30% donde no creció; En cuanto al tratamiento alcalino la concentración del 40% no resulta satisfactoria ya que no presento sobrevivencia, en cuanto a la concentración del 0 y 20% de lodo se reportaron los valores más altos superiores a 1,80g y para los demás sus resultados fueron inferiores de 1,1g. En cuanto al tratamiento con bisulfito las primeras 3 concentraciones (0 – 20%) no reportan crecimiento y en el resto sus valores son inferiores a 0,95g. En general podemos decir que el tratamiento alcalino representa una buena alternativa en comparación al testigo en las especies básicas y arbustivas, además que el tratamiento ácido presenta mejoría en las especies de cultivo básico y por último el tratamiento con bisulfito en algunos casos no satisface el propósito para el cual fue aplicado. ®

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Los metales encontrados en las plantas desarrolladas en las muestras de suelo sin tratamiento nos indican que el K determinado en las especies de zonas áridas es superior en forma significativa con respecto a los cultivos básicos, de estas especies el sorgo forrajero (variedad Sugar sweet) y el maíz Hualauises reportaron 135,60 y 110,70 ppm respectivamente, con respecto a la otra variedad de sorgo (DK-780) esta duplico los valores anteriores (227,40 ppm). En cuanto a la especie de *P. ebano* ella representa el valor más bajo (3302,50 ppm) de este grupo y por lo que respecta a las otras dos cultivos entre ellas no se muestra diferencia alguna. En relación al contenido de este elemento en las mezclas de biosólido se observa un comportamiento similar que en las especies vegetales, como por ejemplo en la especie de *P. ebano* los valores fluctúan entre

3081,75 – 4190,84 ppm, seguido de la especie *P. pallens* (12442,89 – 15302,32 ppm) y finalmente la especie *L. leucocephala* la cual resulto ser superior con niveles de 16391,43 – 29 441,41 ppm.

El B no fue detectado en las especies vegetales básicas sin embargo si se presento en las arbustivas, en *L. leucocephala* se encontró el valor más alto de 47,85 ppm y en *P. pallens* de 25,00 ppm. En las mezclas donde se cultivo el patrón seguido es similar a lo observado en las plantas además de que las cantidades son similares y no existe una marcada diferencia en relación a las concentraciones, por su parte la especie *P. pallens* es inferior a la de *L. leucocephala* quien se presenta en proporción doble (38,77 – 54,33 ppm).

El Mo es un elemento considerado como micronutriente esencial, sin embargo su requerimiento fisiológico es relativamente bajo, se desconoce como es translocado a las plantas se cree que se acompleja con compuestos orgánicos (azufre de algunos aminoácidos). En las especies de cultivo básico el comportamiento del ion molibdeno es similar al del potasio, sin embargo el maíz presenta el valor inferior (0,031 ppm) y entre las especies de sorgo, el híbrido DK-780 reporto 0,066 ppm, por su parte el sorgo sugar sweet resulto ser en el que la concentración fue más elevada de casi el doble (0,133 ppm) lo anterior dependiendo de que uno es forrajero y el otro grano. Kabata, menciona que niveles superiores de 10,0 ppm en forrajes ocasiona serios problemas en ganados. Lo anterior puede también deberse a que normalmente se encuentra en las hojas de las plantas en concentraciones de hasta 1,00 ppm, denotando que esta disminuye de manera progresiva en relación a valores de pH de 8,4 – 7,4 las especies básicas.

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Por lo que respecta a las especies arbustivas en los cultivos la concentración encontrada es alta; *Leucaena leucocephala* 18,34 ppm y *P. pallens* 14,65 ppm por lo contrario en las mezclas con biosólido los valores son inferiores a excepción de la muestra del suelo que es similar a la cantidad encontrada en plantas la cuál determina que este elemento se acompleja con la materia orgánica enmascarandolo provocando la disminución hacia los tejidos de las plantas.

El contenido de Mn presente en el suelo y en las mezclas presenta una deficiencia en el contenido del elemento. La excepción la muestra la especie de ebano (Kabata-Pendias, 1992 y Andre love, 1988 )cuyos valores son de 200 a 3.000 ppm. Se sabe que el manganeso es un

importante constituyente del suelo debido a que es esencial para la nutrición de las plantas, en la fotosíntesis y además influye sobre el comportamiento de otros micronutrientes, se relaciona la deficiencia con un efecto de pH, favoreciendo la oxidación y a la insolubilidad del mismo.

En las especies vegetales de los cultivos básicos presentan cantidades que varían de 1,413 a 36,376 ppm siendo los valores inferiores los del sorgo y el superior el del maíz, este valor es superior a las de las especies áridas excepto por la de ebano la cuál no presenta diferencias ni en las mezclas ni en las plantas.

El Na encontrado en las plantas de cultivo básico es relativamente bajo de 5,018 a 11,560 ppm siendo el maíz la especie que representa el mayor contenido, por lo que se refiere a las especies arbustivas la cantidad encontrada es excesivamente alta presentando entre ellas enormes diferencias siguiendo el orden creciente de *L. leucocephala*, *P. pallens* y *P. ebano* que corresponde 77,06 , 158,83 y 9912,50 ppm. En cuanto a las mezclas los valores encontrados son muy variantes para la especie de *L. leucocephala* el contenido de 71,55 a 447,54 ppm, para *P. pallens* los valores varían de 87,05 a 158,83 ppm y por último para *P. ebano* sus valores resultaron más altos de 292,73 a 992,50 ppm, representando el suelo la concentración superior, fenómeno contradictorio a lo que representa las otras especies cuyo valor es de 75,0 ppm.

El P encontrado en las especies arbustivas es cerca de 200 veces mayor que en los cultivos básicos cuyos valores para el sorgo DK-780 es de 11,03 ppm y para maíz hualahuises de 17,25 ppm, en las especies áridas los valores fueron de 2571,86 y 2310,46 ppm para *L. leucocephala*, *P. pallens* respectivamente el contenido de éste en las mezclas fue de 2016,18 y 3802,32 ppm excepto para la concentración de 50 % de la especie de *P. pallens*.

El Ca clasificado como un macroelemento se encuentra de forma abundante en las plantas de especies de cultivo básico de ellas la que presenta la mayor cantidad es el sorgo forrajero (192,318 ppm) cantidad que sobre pasa de manera significativa el sorgo en grano el valor encontrado (45,978 ppm) quizás debido a que el calcio queda contenido en los granos. Por último la variedad de maíz de hualahuises reporto 97.048 ppm cantidad alta opara este cultivo.

El calcio es importante en función de reacciones químicas de plantas aunado con el Fe produce un efecto antagonista influyendo en el crecimiento y metabolismo intracelular, provocando una clorosis férrica en plantas que crecen en suelos calcáricos (Kabata-Pendias, 1992). Fenómeno que quizá repercute en concentraciones superiores de 30% de inclusión de biosólido que es donde aparece una coloración amarillenta en las hojas de las plantas.

El Mg encontrado en las plantas denota concentraciones superiores a las de las especies áridas sobrepasando por mucho a los cultivos básicos de los cuales el maíz representa la concentración más baja 35,95 ppm, seguida del sorgo DK-780 con 50,10 ppm y finalmente la especie sugar sweet con 95,13 ppm. Por lo que respecta a los cultivos arbustivos las especies de *L. leucocephala*, y *P. pallens* presentan valores similares de 2215,59 ppm para la primera y 2325,58 ppm para la segunda, sin embargo la especie de *P. ebano* supero dichas concentraciones dando un valor de 3357,80 ppm, es importante señalar además el contenido de este elemento en las mezclas en las cuales sus resultados son muy parecido a lo encontrado en plantas. Cabe mencionar que el contenido de éste elemento en comparación con el Ca no mantiene ninguna relación sin embargo el orden de proporción del contenido es igual que el calcio es importante mencionar que este elemento interviene en la fotosíntesis además como ion divalente presenta cierta interferencia con el calcio así como los demás iones de valencia positiva formando agentes complejantes.

En cuanto a la categoría de microelementos se agrupo al Cu, Fe y Zn como los principales metales involucrados en el desarrollo de las especies vegetales comenzando con el Cu es importante mencionar que la absorción de esta en función del pH y del acomplejamiento el cuál se refiere a la formación de quelantes factores que gobiernan el comportamiento de este elemento en el suelo. Conociendo que los niveles varían entre 13,0 y 14,0 ppm de acuerdo a la naturaleza propia del suelo tipo Castañozem y Charnozems, suelos que presentan las concentraciones superiores. En nuestra investigación empleamos el tipo Feozem Calcarico- Castañozem Haplico este presenta una concentración de 5,78 ppm y donde las mezclas finales de diferentes proporciones de biosólido presentaron niveles variantes donde para *L. leucocephala* van de 3,81 a 7,03 ppm, para *P. pallens* de 0,05 a 7,67 y para *P. ebano* de 8,54 a 100,0 ppm excluyendo la concentración de 0 % de biosólido ya que mostró enorme diferencia con respecto a los testigos de las otras dos especies.

Conociendo que el mecanismo del Cu que generalmente se encuentra en raíces en tejido radicular y tejido foliar, ya que en tejidos jóvenes se encuentra en pequeñas cantidades es por ello que en las plantas el contenido es muy bajo inferior a 7,67 ppm a excepción de la especie de ebono razón que ya se menciona en el párrafo anterior. Por otra parte se ha observado que esta involucrado en los mecanismos de resistencia a enfermedades fungicas y bacterianas. También se han determinado interacciones entre el Cu y Zn debido a que siguen el mismo patrón de absorción, favoreciendo una y afectando al otro inhibiendo la absorción de la raíz, éste efecto antagónico ocurre cuando la concentración de Zn es superior a la de Cu (Kabata-Pendias, 1992).

El Fe es otro constituyente considerado microelemento el cual tiene la habilidad de reducirse de  $Fe^{+3}$  a  $Fe^{+2}$  haciendo de esta forma mas fácil su translocación a los tejidos de las plantas (Kabata-Pendias, 1992). Este elemento presenta una intervención activa en la fotosíntesis formando complejos y evitando ser sustituido por otros compuestos como el Mn. Sosteniendo lo anterior en las plantas de cultivos básicos se observo en las concentraciones superiores al 30 % un efecto de clorosis, sin embargo en concentraciones de 0 – 30% un nulo efecto ya que se presento en cantidades bajas, destacando el sorgo híbrido DK-780, seguido del maíz Hualahuises (1,221 y 4,570 ppm) y el sorgo forrajero presento el valor más alto de 58,471 ppm, cantidad razonable haciendolo un forraje basto, caracterizado por presentar altos porcentajes de celulosa (Hughes y Col. 1980). Por lo que se refiere a las especies arbustivas ambas *L. leucocephala* y *P. pallens* presentan un contenido semejante (210,40 y 207,09 ppm respectivamente) esto debido a que el mecanismo de absorción y transporte del Fe dentro de los órganos de la planta es afectado por factores como naturaleza de la planta, medio ambiente, pH del suelo concentración de Ca y P de manera particular por la presencia de estos dos últimos quienes compiten por los sitios de unión ocasionando una baja absorción y distribución del fierro dentro de la planta.

En cuanto al contenido de Fe en las mezclas de biosólido de las especies arbustivas, la cantidad de éste es elevada ya que sus valores fluctúan de 88,75 a 442,11 ppm, lo cuál interfiere respecto al otro comportamiento con otros metales impidiendo su translocación hacia el tejido folicular esta acción debido a las grandes cantidades de Ca y P (Kabata-Pendias, 1992),

provocando esto que el Mn participe en el sistema de desprendimiento de oxígeno de las fotosíntesis, jugando además un papel básico en el transporte de electrones (Barlet,1990).

La presencia del Zn es esencial para el desarrollo de las plantas, la forma móvil de este elemento es  $Zn^{+2}$ , Wada y Abd-Elfattah, indican dos mecanismos de absorción uno de ellos menciona la presencia en medios ácidos y el otro en medios alcalinos y en cada uno de ellos se considera la absorción química (cargas + ó -) y a la influencia de ligandos orgánicos. El contenido de las plantas de especies básicas es inferior a las otras enlistándose al sorgo híbrido (0,436 ppm) como el valor inferior seguido del maíz (0,779 ppm) y por último el sorgo sugar sweet (1,872 ppm) aun así considerado bajo por lo que respecta a las especies arbustivas. Como todos los constituyentes macro y microelementos las especies *L. leucocephala* y *P. pallens* no muestran entre sí diferencia significativa (56,26 y 57,90 ppm) sin embargo la especie de ebano presenta de la misma manera que a los elementos anteriores una concentración sumamente elevada comparada con los cultivos de su mismo tipo quizá esto debido a las características propias que presentan sus mezclas y suelos al mayor contenido de Ca y P hacen que el Zn se inmovilize otra causa puede asociarse a otros metales ocasionando interferencia en el control de absorción de iones y como consecuencia en los tejidos de la planta. Por lo que respecta a las mezclas de las especies arbustivas. La cantidad de Zn presenta en la muestra de suelo para *L. leucocephala* y *P. pallens* es similar efecto el cuál no se observa en *P. ebano*, por lo que corresponde al biosólido se encuentra en proporciones variantes el contenido del zinc reportando valores que van desde 30,07 hasta 177,38 ppm y para las mezclas de ebano desde 100,2 hasta 767,36 ppm; Fenomeno que probablemente se deba al no desarrollo de las especies vegetales de acuerdo con Loneragan, 1981, conforme se suministre Zn se espera disminuya la absorción de la mayoría de los nutrientes.

## CONCLUSIONES

- Con este estudio se corroboró la hipótesis planteada. Es posible aplicar tratamientos fisicoquímicos a los residuos generados en las PTAR's, favoreciendo su estabilización y ser empleados como mejoradores de suelo que resulten efectivos en las prácticas agrícolas para algunas especies.
  - Se logró profundizar en el conocimiento de los biosólidos conociendo su naturaleza química, así mismo determinándolo en este caso como un residuo no peligroso basado en las normas ecológicas vigentes, lo cual nos permite darle aplicación en el campo.
  - De los análisis practicados al biosólido observamos que el contenido de N, P, K, así como de metales Fe, Cu, Ca, Mn y Zn entre otros, quienes representan una fuente rica de nutrientes para las plantas y que además representan un contenido similar a los fertilizantes comerciales encontrados en el mercado.
  - En cuanto a la carga microbiana presente en las mezclas suelo – biosólido, se observó que la aplicación de tratamientos físicos como el secado y químicos como el molido y homogenizado resultaron satisfactorios disminuyendo en un 98% de los microorganismos.
- 
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
- Las concentraciones de biosólidos aplicadas son considerados como buenos debido a que los parámetros como biomasa (producción), altura (crecimiento) con respecto al suelo presentan un efecto positivo incrementando a cada uno de ellos, lo cual favorece el desarrollo de las especies vegetales.
  - Los tratamientos empleados a las mezclas presentan una notable mejoría sobresaliendo entre ellos la aplicación de hidrólisis alcalina para todas las especies probadas y de manera particular con resultados similares lo presenta la hidrólisis ácida para los cultivos básicos.
  - El tratamiento con bisulfito de sodio, cuyo fin era reducir la cantidad de materia orgánica presente, no observó mejoría ni siquiera en el cambio de naturaleza química que se produjo,

determinando de esta manera que la oxidación orgánica e inorgánica producida no beneficia a las mezclas de suelo – biosólido, no presentando interferencia el contenido orgánico de ellas.

- En cuanto a la concentración de biosólido recomendada para obtener un efecto benéfico en las especies vegetales corresponde a la dosis de 30% de inclusión de biosólido seguida de la del 20%.
- A dosis de 40 y 50% de biosólido se observaron efectos drásticos en la disminución de parámetros de sobrevivencia, además de afectar el desarrollo, se denota una coloración amarillenta en las hojas de las diferentes especies (posible clorosis), el crecimiento (altura) y la producción (biomasa).
- El patrón de respuesta seguido por las especies vegetales producidas presenta un comportamiento similar con el testigo y superior al suelo agrícola, lo cual establece un diseño estadístico para poder predecir el efecto en las plantas.
- De acuerdo a la naturaleza del biosólido este puede ser considerado como no tóxico (en este caso), evitándose ser confinado y darle una aplicación útil, ya sea como fertilizante, relleno sanitario, la extracción de metales, entre otros.

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## RECOMENDACIONES

- Continuar con estudios de caracterización de biosólidos de las diferentes PTAR para poder determinar su naturaleza la cual es específica de cada tipo de agua y proceso, para brindarle una aplicación útil, evitando el confinamiento.
- Realizar estudios de metales en las diferentes partes de las plantas en cada uno de los tratamientos aplicados para observar si existe acumulación en ellas
- Aplicar una escala más amplia de valores de pH, incrementando los niveles ácidos y alcalinos para determinar el punto óptimo de cada especie.
- Estudiar otro tipo de especies vegetales como legumbres y hortalizas, para determinar el efecto que se tenga.
- Emplear diferentes tipos de suelo, para observar si persiste el mismo efecto producido por el biosólido.
- Realizar estudios donde se analicen concentraciones entre 10 y 35% de inclusión de biosólido y determinar el efecto que se observe en ellas, con el fin de obtener un nivel óptimo de aplicación, debido a que estos presentan un comportamiento de curva el cual se puede mejorar.
- Aplicar diferentes tratamientos empleando otros ácidos e hidróxidos en proporciones variantes.
- Determinar los niveles de fibra, nitrógeno, fósforo y potasio de las especies de zonas áridas para observar si presenta enriquecimiento de estos.

## LITERATURA CONSULTADA

- Abromowicz, D.A. 1989. Biodegradation of PCB contaminated soil using recombinant bacteria. Proc. A& MA/EPA Internantional Symp. Haz. Waste Treatment. Cincinnati, OH.
- Adrian, N.R., and J.M. Sufliata. 1990. Reductiva de halogenation of nitrogen heterocyclic herbicide in anoxic aquifer slorries. Appl. Environ. Microbial. 56: 292-294.
- Alexander, M. 1991. Research need in bioremediation. Environ. Sci Technol 25:1972-1973.
- APHA-AWWA-WPCF. 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas potables y Residuales. Editorial Diaz de Santos.
- Applied Biotreatment Association. 1989 Compendium of Biotreatment Application. ABTA, Washington, D.C.
- Atlas, R.M., and M.C. Atlas. 1991. Biodegradation of oil and bioremedation of oil spills. Curr. Opinion Biotechnol. 2: pp 440-443
- Babich, H. And Stotzku, G. 1978. Of Cadmio on the biota: influence of enviromental factors, Adv. Appl. Microbiol., 23, 55.
- Bartlett, R. J. And Kimble, J. M. 1976. Behavior of cromium in soils I. Trivalent forms II. Hexavalent forms. J. Environ. Qual., Vol 5 pp: 379 – 383.
- Bluestone, M. 1986. Microbes to the rescue. Chem Weeks, Oct. 29. 1986 pp 34-40.
- Boop, L. H. 1986. Degradation of highly clorinated P.C.B. s by Pseudomonas strain LB 400. J. Ind. Microbial 1:23-29.
- Bourquin, A. W. 1990. Bioremedation of hazardous waster <biofutur 93: 24-37.

- Borchardt, J.A; W.J. redman, G.E. Johns, R.T. Sprague. 1981. Sludge and its Ultimate Disposal. Ann Arbor.Science Publishers Inc.
- Carmona Ruiz, G. 1989. Manual de Hidrología y Pedalogía. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. pp: 35 – 37.
- CAST- Council for Agricultural Science and Technology. 1976. Application of Sewage Sludge to Cropland: Appraisal of Potencial Hazards of Heavy Metal to Plants and Animals Report No 64.
- Chaney, R. L. and Hornieck, S. B. 1977. Accumulation and effects of cadmium on crops, paper presented at Int. Cadmium Conf., San Francisco. January 31 1977 pp 125.
- Cristobal, S.F. y Heros J.a. 1997. Valoración de los biosolidos producidos por estaciones generadoras de aguas residuales del ayuntamiento de Madrid. Revista del departamento de aguas y Saneamiento, Ayuntamiento de Madrid España.
- Crook, J. and Okun D:A. 1987. The place of Nonpotable Reuse in water Managements Journal WPCF. Vol.59 num. 5.
- Culp, Wesner, Cup 1979. Water Reuse and Recycling, Office of Water Research and Technology, U.s. Departament of the Interior. Washington.
- Distwpheno, T.D., J.M. Gossett, and S. H. Zinder. 1991. Reduction dechlorination of high concentrations of tetrachloroethene by anaerobic enrichment culture in the absence of methanogenesis. Appl. Environ. Microbial. 57.2287-2292
- Dolfing, J., and J.M. Tiedje. 1987. Growth yield increase linked to reductive dechlorination in a defined 3-Chlorobenzoate degrading methanogenesis. Appl. Culture Arch Microbial. 149:102-105.

- Dowdy, R.h.;W.E.Larson.1975. Metal Uptake by Barley Seedings Grow an Soils amended with Sewage Sludge, J. Environment Qual, vol.4, No.2 pp229-232.
- Evangelista, R.A. Treatment of phenol and cresol contaminated soil. J. Haz. Mat. (Amsterdam) U25 pp. 343-360.
- Fernando, T., J.A. Bumpus, and S.D. Aust. 1990. Biodegradation of TNT(2,4,5-trinitrotoluene) by *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbial. Vol. 56 pp: 1666-1671.
- Forbes, E. A., Ponser, A. M., and Quirk, J. P. 1976. The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb and Zn on goethite. J. Soil Sci., Vol: 27 pp: 154.
- Gadde, R. R. And Laitinen, H. A. 1974. Study of heavy metal absorption by hydrous iron and manganese oxides to land. Anal. Chem. , Vol: 46 pp: 2022.
- Galli, R., and P.L. Mc Corty.1989. Bitransformation of 1,1,1- trichloro etheno,trichloro methane and tetrachloromethane by a *Clostridium* sp. Appl. Environ. Microbial. Vol. 55 pp 837-844.
- Genthner,B.R.S.; W.A. Price and P.H a. Pritchard. 1989. Anaerobic degradation of chloromatic compounds in aquatic sediments under a variety of enrichment conditions. Appl. Environ. Microbial. Vol. 55 pag. 1466-1471.
- Genthner,B.R.S.; W.A. Price and P.H b. Pritchard. 1989. Characterization of anaerobic dechlorination consortia derived from aquatia sediments. Appl. Environ. Microbial. Vol. :55 pag.1472-1476.
- Health and Welfore Canada.1980. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Supporting Documentation, Ottawa.

- Hocppel,R.E.; R.E. Hinchee and M.F. arthur. 1991. Bioventing soils contaminated with petroleum hydrocarbons. *J. Ind. Microbial.* 8:141-146.
- Kabata - Pendias, A. 1989. Datos sin publicar.
- Keleg, I. And C.E. Cerniglia. 1991. The metabolism of flueranyhene by a especies of *Mycobacterium*. *J. Ind Microbial.* Vol:7 pp.19-26.
- Keinholtz, E.W., G. Bitton; B.L., Damron, G.T: Edds; J.M. Davidson. 1980. Effect of Toxic, Chemical Presentin Sewage Sludge on Animal Health in: *Sludge-Health Risk of Land Application*. Ann Arbor Science, Ann. Arbor,Michigan. Pp- 153-171.
- Krockel, L.; and D.D. Facht. 1987. Construction of chlorobenzene utilizing recombinants by progenitive manifestation of event. *Appl. Environ. Microbial.* Vol. 53 pp 2470-2475.
- Laver, W.C.; Roger,S.e and Ray J.M. 1985. Denver's Potable Water project-current Status, *Proceedings of the Water Reuse Symposium III, Future of Water Reuse*, AWWA Research Foundation, Denver Co. pag. 1,316.
- Laxen, D. P. H. 1985. Trace metal adsorption/coprecipitation on hydrous ferric oxide under realistic conditions, *Water Res.* Vol. 19. pp. 1229.
- Linde, D.R., C.E. Clapp and R.H. Dowdy.1983 Hydrologic management nutrients in proceedings of the works hop on utilization of municipal wastewater and sludge on land Riverside. University California, pp.79-103.
- Linsted, K.D. and Rothenberg M.R. 1982. Potable Water Reuse, E.J. Middlebrooks *Water Reuse*,Ann Arbor, MI.

- Little, C.D., A.V. Palumbo, S.E. Herbes, M.E. Lindstrom, R.L. Tyndalls and P.J. Gilmer.1988. Trichloroethylene biodegradation by a methane-oxidizing bacterium. *Appl. Environ Microbial.* Vol.:54 pp. 951-956.
- Llangoster, F.R. y Lopez P.A. 1997. *Sociedad de explotación de aguas residuales S.A. (SEARSA) segunda edición Barcelona España.*
- Loneregan, J. F., Robson, A. D. And Graham, R. D. 1981. Distribution and movement of copper in plants, in *Copper in soils and plants*.Eds. Academic Press, New York. pp:165.
- McCormick, D. 1985. One buds meat. *Biotechnology* vol.3 pp. 429-435.
- Mahaffey W.D., and R.A. sanford. 1991. Biorremediation of PCP- contaminated soil:Bench to full-seale implementation. *Remediation (summer)* pp. 305-323.
- Metcalf y Eddie. 1996. *Ingenieria de Aguas Residuales. Tercera Edición.* Editorial McGraww Hill, Inc. USA. Pp. 945-969.
- Mizrlhani, A. 1989. Biological waste treatment *Adv. Biotechnol. Proc.* 111-130.
- Morgan P. and R.J. Watkinson. 1989. Hydrocarbon degradatio in soils and methods for soil biotreatment. *CRC. Crit. Rev. Biotechnol.* Vol.8 pp.305-333.
- Mueller, J.G., P.J. Chopman and P.H. Pritchard. 1989. Action of fluorantheneuti lizing bacterial community on polycyclic aromatic hydrocarbon components of cresote. *Appl. Environ. Microbial.* Vol. 55 pp. 3085-3090.
- Mueller, J.G., D.P. Middaugh, S.E. Lantz and P.J. Chapman. 1991. Biodegradation of creosate and pentachlorophenol in contaminated groundwater. *Chemical and biological assessment* *Appl. Environ. Microbial* vol:57 pp. 1277-1285.

- Nelson, M.J. K., S.O. Montgomery, W.R. Maltaffey, and P.H. Pritchard. 1987. Biodegradation of trichloroethylene and involvement of an aromatic biodegradative pathway. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol:53 pp.949-954.
- Nelson, M.J., J.V. Kinsella and T. Montoya. 1990. Insitu biodegradation of TCE contaminated groudwater *Environ. Progr.* Vol. 9 pp.190-196.
- Nelson, M.J.K. and A.W. Bourquin. V.S. Patent 4,925,802. Ecova Corp. Redmond, W.A.
- Normas Oficiales Mexicanas. Contenidas en el Diario Oficial de la Federación.
- Odendaal, P.E. and W.H. Hattingh. 1988. The Status of Potable reuse research in South Africa, the Proceedings of Water Reuse Symposium IV, Implementing water Reuse, AWWA Research Foundation, Denver, CO. pp.1339.
- Olson, B.H. 1991. Tracking and using genes in the enviroment. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 254 pp.604-610.
- Ongerth, h.J. and Ongerth, J.E. 1982. Health Consequences of wastewater Resuse, *Ann. Rev. of Public Health*, vol.3.
- OMAF/OMOE. 1981. Ontario Ministry of Agriculture and Foot/ Ontario Ministry of the Enviroment. Guidelines for Sewage Sludge Utilization on Agricultural Londs, Toronto Ontario.
- OMAFRA (ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 1998. <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/enviroment/facts/95.069.htm>.
- Pierce, G.E. 1982. Diversity of microbial degradation and its implications in genetic engineering. In *impact of Applied genetics in pollution control*, Kalpa, C.F., R.L. Irvine, and S.J. Sojka (eds) University of Notre Dame. Pp. 20-25.

- **Revista de Agua y Drenaje de Monterrey, 1997.**
- **Savage, P. 1987. Bacteria pass a Houston cleanup test. Chem Week Nov. 11. 1987, pp. 55-56.**
- **Shannon, E.E ;F.J. Ludwing; I. Valdmains. 1976. Polychlorinated Biphenylos (PCB'S) in Municipal Wastawater: An Aseessment of the Problem in the Canadian Lower Great Lakes. Canada-Ontario Ageement Research Report No. 49. Ontario Ministry of the Enviroment Canada, Ottawa.**
- **Siebe,Ch.,E.G. Santos,E. Sifuentes y I.S.Ugarte.1998. Coeficiente de transferencia de metales pesados del suelo a diferentes cultivos en una area regada con aguas residuales. Aaprimer Simposio Nacional sobre Nutrición de Cultivos de Queretaro,México pag.28.**
- **Sieger, Ronald B.1999. Biosolids management in the USA using the EPA 503 Regulations. Presented at the 7 th Joint Meeting EXPO AGUA' 99. Monterrey, N. L. México.**
- **Stapps, J.J. 1988. Developments in situ biorestaracion of contaminated soil and groundwater in the Netherlands. In 2. Filip. /ed) Biotechnologische IN situ-sanierung. Fischer Verlag, Stuttgart/ New York. Pp. 379-390.**
- **Stone, Michael. 1984. Superbugs devour poisonous wastes. Eur. Chem. News chemcope, November, pp. 36-37.**
- **Street, J. J., Lindsay, W.L. and Sabey, B. R. 1977. Solubility and plant uptake of cadmium in soil amended with cadmium and sewage sludgle J. Environ. Qual. Vol: 6, pp:72.**
- **Spanggord, R.J., J.C. Spain, S.F. Wishino, and K.E. Martelmans. 1991. Biodegradation of 2,4-dinitrotoluene by a Pseudomonas sp. Appl. Environ. Microbial. Vol. 57 pp. 3200-3205.**

- State of California. 1989. The water quality control act and related code section (improving 1988) amendments California State Water Resource Control board, Sacramento California. Vol. 3 January.
- Timmis, K.N., F. Rojo and R.J. Ramos. 1988. Prospects for Laboratory engineering of bacteria to degrade pollutants. In Environmental Biotechnology: Reducing Risks from Environmental Chemicals through Biotechnology G.S. Omenn (ed), Plenum Press, New York.
- Teorema. Vol. 10, sep-Nov. 1996. Pp. 24-25.
- Torres, G.G., T. Zarate, R.U. 1996. Estudio técnico sobre la factibilidad de tratamiento, manejo y disposición de lodos residuales de la planta tratadora de Monterrey, N.L. Mex. Revista Agua y Drenaje de Monterrey.
- Uchiyama, H., T. Nakajima, and O. Yagi. 1989. Aerobic degradation of trichloroethylene at high concentration by a methane utilizing mixed culture. Appl. Environ. Microbiol. Vol. 55 pp. 1019-1024.

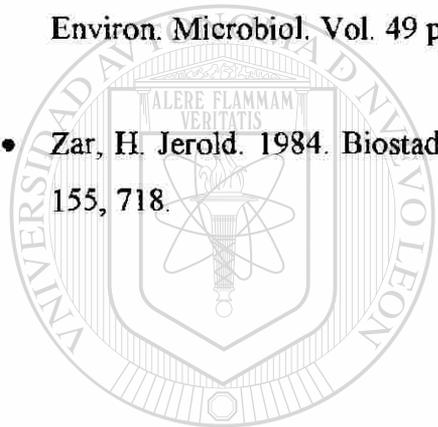
Universidad de Washington.

- <http://weber.u.washington.edu/Irobh/Courses/ESC311/1997/Birgitte/fig.390b.gif>... 1997. Sewage Sludge Amending soils and Heavy Metal Internet, 1997.

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

- Vogel, T.M., and P.L. Ma Carty. 1985. Biotransformation of tetrachloroethylene to trichloroethylene, vinylchloride and carbone dioxide under methanogenic conditions. Appl. Environ. Microbiol. Vol. 49 pp. 1080-1083.
- Wallnoefer, P.R., W. Ziegler, G. Engelhardt, and H. Rothmeier. 1978. Transformation of dinitrophenol herbicides by Azotobacter sp. Chemosphere vol. 7 pp. 967-972.

- Wang, M.J.; S.P. Megrath; K.C. Jones. 1995. Chlorobenzenes in field soil with a History of Multiple Sewage Sludge Applications. *Environmental Science Technology* Vol. 29 No.2 pp. 356-362.
- Webber, M.D.; H.D. Monteith and D.G.M. Corneau. 1983. Assessment of Heavy Metals and PCB'S at Selected Sludge Application Sites. *J. Water Pollut. Control Fed.* 55 pp 187-195.
- Webber, M.D. 1984. Manual for Land Application of Treated Municipal Wastewater and Sludge. Report. EP 56-EP-84-1. Canada pp. 37-86,130-156.
- Wilson, J.T. and B.H. Wilson. 1985. Biotransformation of trichloroethylene in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 49 pp. 242-243.
- Zar, H. Jerold. 1984. *Biostatistical Analysis*. Second edition. Editorial Prantice-Hall pp. 153-155, 718.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## ANEXO I

*DATOS DE LOS CUALES SE OBTIENEN LOS RESULTADOS.*

### I. Pruebas de germinación de las especies de cultivo básico.

<i>Especie</i>	<i>Repetición 1</i>	<i>Repetición 2</i>	<i>Repetición 3</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación</i>
Sorgo sugar sweet	91,0	95,0	90,0	92,0	± 2,2
Sorgo DK-780	91,0	99,0	98,0	96,0	± 3,6
Maiz Hualauises	97,0	85,0	82,0	88,0	± 6,5

n= 100, r=3

### 2. Pruebas de germinación de especies de zonas áridas.

<i>Especie</i>	<i>Repetición 1</i>	<i>Repetición 2</i>	<i>Repetición 3</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación</i>
<i>Acacia berlanderi</i>	10,0	8,0	10,0	9,3	± 0,94
<i>Acacia wrightii</i>	10,0	4,0	8,0	7,3	± 2,49
<i>Condalia hookeri</i>	4,0	4,0	8,0	5,3	± 1,89
<i>Leucaena leucocephala</i>	90,0	96,0	84,0	90,0	± 4,90
<i>Parkinsonia aculeata</i>	8,0	10,0	6,0	8,0	± 1,63
<i>Pithecellobium eburno</i>	60,0	68,0	76,0	68,0	± 6,53
<i>Pithecellobium pallens</i>	80,0	84,0	82,0	82,0	± 1,63
<i>Prosopis glandulosa</i>	8,0	12,0	14,0	11,3	± 2,49

n= 50, r=3

3. Plantas desarrolladas en los diferentes tratamientos de la especie *Sorgo Sugar sweet* durante 3 meses.

Conc. % biosólido	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	Repetición 5	Repetición 6	% Sobrevivencia
<b>a) Testigo</b>							
0,0	3+	3+	3+	3+	3+	3+	100,0%
10,0	3+	3+	3+	3+	3+	3+	100,0%
20,0	2+	3+	1+	3+	3+	3+	77,0 %
30,0	3+	3+	3+	3+	3+	2+	94,4 %
40,0	3+	3+	2+	3+	3+	2+	88,8 %
50,0	3+	3+	3+	3+	3+	3+	100,0 %
<b>b) Tratamiento ácido</b>							
0,0	—	—	—	—	—	—	—
10,0	3+	3+	3+	2+	2+	3+	88,8 %
20,0	3+	3+	3+	3+	2+	3+	94,4 %
30,0	3+	3+	2+	2+	3+	3+	94,4 %
40,0	2+	2+	1+	2+	1+	1+	50,0 %
50,0	1+	2+	1+	2+	0	0	33,3 %
<b>c) Tratamiento alcalino</b>							
0,0	—	—	—	—	—	—	—
10,0	2+	3+	2+	1+	3+	3+	77,7%
20,0	3+	2+	2+	2+	1+	2+	66,6 %
30,0	3+	3+	2+	2+	3+	2+	83,3 %
40,0	1+	2+	0	1+	2+	0	33,3 %
50,0	1+	2+	0	0	0	1+	22,2 %
<b>d) Tratamiento oxidativo</b>							
0,0	—	—	—	—	—	—	—
10,0	3+	1+	2+	2+	2+	2+	66,6 %
20,0	2+	2+	1+	2+	3+	3+	72,2 %
30,0	3+	2+	3+	2+	1+	2+	72,2 %
40,0	2+	1+	0	2+	1+	0	33,3 %
50,0	2+	0	0	1+	1+	1+	27,7 %

Nota: el símbolo + : significa que las especies se desarrollaron.

El número : indica la cantidad de especies, la prueba se realizó con 3 semillas.

4. Plantas desarrolladas en los diferentes tratamientos de la especie Sorgo DK-780 durante 3 meses.

Conc. % biosólido	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	Repetición 5	Repetición 6	% Sobrevivencia
<b>a) Testigo</b>							
0,0	3+	3+	3+	3+	2+	3+	94,4 %
10,0	3+	3+	3+	2+	2+	3+	88,8 %
20,0	3+	3+	2+	3+	2+	3+	88,8 %
30,0	3+	3+	3+	2+	3+	3+	94,4 %
40,0	2+	2+	3+	3+	3+	2+	83,3 %
50,0	3+	3+	3+	2+	2+	2+	77,7 %
<b>b) Tratamiento ácido</b>							
0,0	—	—	—	—	—	—	—
10,0	3+	3+	3+	3+	3+	2+	94,4 %
20,0	3+	3+	3+	2+	3+	2+	88,8 %
30,0	3+	2+	3+	3+	3+	3+	94,4 %
40,0	2+	2+	2+	3+	2+	1+	66,6 %
50,0	1+	1+	2+	3+	2+	2+	61,1 %
<b>c) Tratamiento alcalino</b>							
0,0	—	—	—	—	—	—	—
10,0	3+	2+	3+	2+	2+	2+	77,7 %
20,0	3+	2+	2+	1+	3+	2+	72,2 %
30,0	3+	3+	2+	2+	3+	2+	83,3 %
40,0	2+	2+	1+	2+	1+	0	44,4 %
50,0	2+	1+	0	1+	0	0	22,2 %
<b>d) Tratamiento oxidativo</b>							
0,0	—	—	—	—	—	—	—
10,0	2+	2+	2+	1+	2+	1+	55,5 %
20,0	2+	2+	3+	0	2+	1+	55,5 %
30,0	3+	3+	2+	1+	2+	2+	72,2 %
40,0	0	2+	1+	1+	0	1+	27,7 %
50,0	2+	1+	0	1+	0	0	22,2 %

Nota: el símbolo + : significa que las especies se desarrollaron.

El número : indica la cantidad de especies, la prueba se realizó con 3 semillas.

5. Plantas desarrolladas en los diferentes tratamientos de la especie Maiz hualauises durante 3 meses.

Conc. % biosólido	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4	Repetición 5	Repetición 6	% Sobrevivencia
<b>a) Testigo</b>							
0,0	3+	2+	3+	2+	2+	2+	77,7 %
10,0	3+	2+	3+	1+	2+	1+	66,6 %
20,0	3+	2+	2+	1+	2+	1+	66,6 %
30,0	2+	3+	3+	2+	1+	2+	72,2 %
40,0	1+	2+	1+	2+	0	2+	44,4 %
50,0	0	1+	0	2+	1+	1+	27,7 %
<b>b) Tratamiento ácido</b>							
0,0	---	---	---	---	---	---	---
10,0	3+	2+	3+	2+	2+	2+	77,7 %
20,0	3+	3+	2+	1+	2+	3+	77,7 %
30,0	3+	2+	3+	2+	2+	2+	77,7 %
40,0	1+	1+	0	2+	1+	0	27,7 %
50,0	0	2+	1+	0	0	2+	27,7 %
<b>c) Tratamiento alcalino</b>							
0,0	---	---	---	---	---	---	---
10,0	2+	2+	1+	2+	2+	3+	66,6 %
20,0	2+	3+	1+	2+	2+	1+	61,1 %
30,0	2+	2+	3+	1+	1+	2+	61,1 %
40,0	1+	0	2+	1+	0	0	22,2 %
50,0	1+	0	0	1+	1+	1+	22,2 %
<b>d) Tratamiento oxidativo</b>							
0,0	---	---	---	---	---	---	---
10,0	2+	2+	3+	1+	2+	1+	61,1 %
20,0	2+	2+	2+	2+	3+	1+	66,6 %
30,0	3+	2+	2+	1+	2+	3+	72,2 %
40,0	1+	2+	0	1+	0	2+	33,3 %
50,0	0	2+	1+	0	0	2+	27,7 %

Nota: el símbolo + : significa que las especies se desarrollaron.

El número : indica la cantidad de especies, la prueba se realizó con 3 semillas.

6. Supervivencia de la especie *Leucaena leucocephala* cultivada en diferentes tratamientos durante 12 semanas

Conc. % biosólido	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	% Supervivencia
<b>a) Testigo</b>				
0,0	3+	3+	3+	100,0
10,0	3+	3+	2+	88,8
20,0	3+	3+	3+	100,0
30,0	3+	3+	3+	100,0
40,0	3+	3+	3+	100,0
50,0	2+	2+	3+	77,7
<b>b) Tratamiento ácido</b>				
0,0	---	---	---	---
10,0	3+	2+	3+	77,7
20,0	3+	3+	2+	88,8
30,0	3+	2+	3+	88,8
40,0	3+	2+	2+	77,7
50,0	3+	2+	1+	66,6
<b>c) Tratamiento alcalino</b>				
0,0	---	---	---	---
10,0	3+	3+	3+	100,0
20,0	3+	3+	3+	100,0
30,0	3+	3+	3+	100,0
40,0	3+	2+	2+	77,7
50,0	2+	2+	1+	55,5
<b>d) Tratamiento oxidativo</b>				
0,0	---	---	---	---
10,0	3+	2+	2+	77,7
20,0	3+	2+	3+	88,8
30,0	3+	2+	2+	77,7
40,0	3+	1+	1+	55,5
50,0	3+	1+	1+	55,5

Nota: el símbolo + : significa que las especies se desarrollaron.

El número : indica la cantidad de especies, la prueba se realizó con 3 semillas.

7. Supervivencia de la especie *Pithecellobium pallens* cultivada en diferentes tratamientos durante 10 semanas

Conc, % biosólido	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	% Supervivencia
<b>a) Testigo</b>				
0,0	3+	3+	3+	100,0
10,0	3+	3+	2+	88,8
20,0	3+	3+	3+	100,0
30,0	3+	2+	3+	88,8
40,0	0	0	0	0,0
50,0	2+	2+	3+	77,7
<b>b) Tratamiento ácido</b>				
0,0	---	---	---	---
10,0	3+	2+	3+	88,8
20,0	3+	2+	3+	88,8
30,0	3+	2+	3+	88,8
40,0	2+	2+	1+	55,5
50,0	2+	2+	1+	55,5
<b>c) Tratamiento alcalino</b>				
0,0	---	---	---	---
10,0	3+	3+	2+	88,8
20,0	3+	3+	2+	88,8
30,0	3+	3+	2+	88,8
40,0	3+	2+	1+	66,6
50,0	2+	2+	1+	55,5
<b>d) Tratamiento oxidativo</b>				
0,0	---	---	---	---
10,0	3+	2+	1+	66,6
20,0	3+	2+	2+	77,7
30,0	3+	2+	2+	77,7
40,0	2+	2+	1+	55,5
50,0	2+	1+	1+	44,4

Nota: el símbolo + : significa que las especies se desarrollaron.

El número : indica la cantidad de especies, la prueba se realizó con 3 semillas.

8. Supervivencia de la especie *Pithecellobium ebanum* cultivada en diferentes tratamientos durante 12 semanas

Conc. % biosólido	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	% Supervivencia
<b>a) Testigo</b>				
0,0	3+	2+	1+	55,5
10,0	2+	2+	2+	66,6
20,0	1+	2+	3+	66,6
30,0	2+	2+	1+	55,5
40,0	0	1+	2+	33,3
50,0	0	1+	1+	22,2
<b>b) Tratamiento ácido</b>				
0,0	---	---	---	---
10,0	2+	0	1+	33,3
20,0	2+	1+	0	33,3
30,0	0	0	0	0,00
40,0	1+	2+	0	33,3
50,0	0	1+	1+	22,2
<b>c) Tratamiento alcalino</b>				
0,0	---	---	---	---
10,0	1+	2+	0	33,3
20,0	2+	1+	0	33,3
30,0	1+	1+	0	22,2
40,0	0	0	0	0,00
50,0	1+	0	0	11,1
<b>d) Tratamiento oxidativo</b>				
0,0	---	---	---	---
10,0	0	0	0	0,00
20,0	0	0	0	0,00
30,0	1+	1+	0	22,2
40,0	0	1+	0	11,1
50,0	0	1+	0	11,1

Nota: el símbolo + : significa que las especies se desarrollaron.

El número : indica la cantidad de especies, la prueba se realizó con 3 semillas.

9. Valores de conductividad obtenidos por la especie *Sorgo sugar sweet* en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo.

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	204,0	209,1	216,2	184,8	216,3	199,8	206,7	± 8,00
10,0	92,4	96,1	103,0	107,3	95,6	94,2	98,1	± 5,26
20,0	102,6	105,3	98,1	92,6	107,3	112,7	103,1	± 6,45
30,0	116,8	112,3	107,4	104,3	124,6	121,6	114,5	± 7,26
40,0	140,2	139,6	132,7	129,6	136,8	139,5	136,4	± 3,96
50,0	156,9	161,3	147,4	142,3	152,7	167,6	154,7	± 8,42

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	298,6	292,5	276,8	289,6	279,4	284,3	286,9	± 7,53
10,0	110,8	96,3	92,7	122,6	118,6	132,1	112,8	± 14,02
20,0	136,4	132,6	126,8	141,3	143,9	149,4	138,4	± 7,43
30,0	160,2	163,6	154,2	148,3	165,3	160,6	158,7	± 5,80
40,0	194,3	186,3	182,6	198,6	193,5	188,3	190,6	± 5,38
50,0	210,4	202,3	210,9	214,6	209,3	197,8	207,5	± 5,69

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	310,4	306,7	318,4	302,3	320,1	306,1	310,7	± 6,52
10,0	110,6	104,2	98,6	96,1	116,3	124,6	108,4	± 9,95
20,0	103,2	106,6	106,9	110,4	104,3	106,4	106,3	± 2,26
30,0	95,4	96,8	98,3	97,3	98,9	91,7	96,4	± 2,37
40,0	100,2	101,8	96,6	92,4	103,5	95,3	98,3	± 3,86
50,0	87,6	89,9	88,6	90,8	96,2	87,5	90,1	± 2,97

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	201,0	204,6	218,0	214,0	221,0	216,0	212,4	± 7,21
10,0	98,6	92,3	93,6	97,6	92,5	96,0	95,1	± 2,45
20,0	92,6	87,6	86,9	94,6	96,8	100,34	93,1	± 4,77
30,0	111,3	98,9	103,2	109,3	114,1	104,0	106,8	± 5,21
40,0	104,9	109,6	101,6	99,7	108,2	103,6	104,6	± 3,46
50,0	116,8	109,2	114,6	110,3	125,6	96,50	112,6	± 8,80

Nota: r : repetición.

X : valor promedio,

desv. : desviación.

10. Valores de conductividad obtenidos por la especie Sorgo DK-780 en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo.

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	210,4	198,1	217,6	220,3	221,6	217,8	214,3	± 8,06
10,0	96,3	92,4	90,6	101,3	98,5	97,4	96,1	± 3,63
20,0	110,6	114,6	106,2	102,1	104,8	104,2	107,8	± 4,24
30,0	115,6	120,4	121,2	112,3	122,4	117,1	118,2	± 3,51
40,0	138,6	142,3	145,3	136,8	146,3	135,5	140,8	± 4,11
50,0	156,2	158,3	168,3	172,3	168,7	148,8	162,1	± 8,28

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	278,1	252,6	276,4	282,6	290,4	277,6	276,3	± 11,58
10,0	110,3	116,7	118,3	106,9	118,3	114,6	114,2	± 4,25
20,0	138,6	132,6	140,2	129,7	140,3	135,2	136,1	± 3,97
30,0	158,4	160,2	165,6	163,1	168,9	158,2	162,4	± 3,90
40,0	204,3	201,6	198,9	196,3	189,6	218,9	201,6	± 8,99
50,0	243,0	241,0	237,0	232,3	246,8	218,3	236,4	± 9,28

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	302,8	307,6	310,45	298,6	290,4	285,6	299,2	± 8,86
10,0	109,3	100,2	99,4	96,3	92,9	114,5	102,1	± 7,46
20,0	116,3	104,2	106,2	110,8	114,6	105,5	109,6	± 4,63
30,0	97,4	97,8	99,6	102,4	96,3	93,3	97,8	± 2,80
40,0	88,9	89,6	92,3	94,2	88,3	89,1	90,4	± 2,12
50,0	78,6	80,3	82,1	86,7	87,56	89,9	84,2	± 4,11

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	R5	r6	X	desv
0,0	210,1	219,6	196,4	176,8	184,3	191,2	196,4	± 14,62
10,0	89,6	88,3	86,3	92,3	96,2	90,9	90,6	± 3,13
20,0	83,6	89,6	92,3	94,2	84,6	85,5	88,3	± 4,00
30,0	109,3	106,2	102,4	107,1	109,3	105,9	106,7	± 2,35
40,0	112,6	106,3	101,2	109,3	115,8	111,2	109,4	± 4,67
50,0	104,2	100,8	114,6	110,6	104,7	102,9	106,3	± 4,76

Nota: r : repetición,  
 X : valor promedio,  
 desv. : desviación.

11. Valores de conductividad obtenidos por la especie Maíz Hualauises en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo.

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	221,6	219,4	207,6	232,6	239,0	240,0	226,7	± 11,59
10,0	81,6	80,4	72,6	89,6	88,3	92,7	84,2	± 6,75
20,0	90,2	89,3	91,4	93,2	97,5	88,0	91,6	± 3,09
30,0	103,5	110,6	102,1	98,6	106,3	93,3	102,4	± 5,49
40,0	107,9	108,6	114,3	101,1	107,8	101,7	106,9	± 4,47
50,0	122,3	129,6	118,2	116,3	128,6	95,4	118,4	± 11,38

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	284,0	286,7	292,3	279,6	276,4	262,0	280,2	± 9,56
10,0	65,2	67,3	69,8	71,2	73,6	59,7	67,8	± 4,50
20,0	81,3	78,9	76,2	74,2	85,9	87,1	80,6	± 4,72
30,0	94,3	89,2	88,6	92,6	96,7	91,2	92,1	± 2,82
40,0	101,6	104,2	108,3	109,9	97,6	92,2	102,3	± 6,08
50,0	112,6	108,3	101,4	102,9	128,2	132,4	114,3	± 11,94

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	310,4	318,6	302,6	299,7	289,4	294,6	302,5	± 9,69
10,0	71,4	72,6	65,3	60,8	72,6	67,7	68,4	± 4,32
20,0	75,6	68,9	72,3	71,4	76,8	67,6	72,1	± 3,30
30,0	79,8	79,3	80,4	71,6	76,2	78,3	77,6	± 3,00
40,0	79,4	67,9	68,2	70,6	74,8	84,3	74,2	± 6,02
50,0	73,8	78,6	69,7	77,3	76,3	92,1	76,3	± 8,01

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	206,0	198,0	186,7	187,4	184,6	176,2	189,8	± 9,63
10,0	92,3	94,6	90,1	88,6	96,2	80,0	90,3	± 5,26
20,0	92,7	91,2	89,2	86,4	93,2	96,9	91,6	± 3,28
30,0	106,8	110,4	103,2	100,9	114,6	108,5	107,4	± 4,51
40,0	98,9	99,6	103,6	109,2	103,5	100,8	102,6	± 3,44
50,0	110,2	115,4	118,4	121,3	116,8	122,3	117,4	± 4,00

Nota: r : repetición,  
 X : valor promedio,  
 desv. : desviación.

12. Valores de conductividad obtenidos por la especie *Leucaena leucocephala* en las mezclas de biosólido después de 12 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	191,2	188,6	179,4	204,2	208,1	216,5	198,0	± 12,67
10,0	51,8	54,6	48,9	53,2	55,2	63,9	54,6	± 4,63
20,0	52,3	60,1	54,9	54,6	58,3	49,2	54,9	± 3,60
30,0	57,4	52,3	60,2	61,3	59,3	52,1	57,1	± 3,65
40,0	90,2	87,6	81,4	88,6	90,3	96,5	89,1	± 4,45
50,0	80,3	79,4	76,2	83,1	86,3	91,5	82,8	± 4,98

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	178,1	182,6	189,4	196,1	201,6	204,3	192,0	± 9,56
10,0	67,2	65,3	72,1	71,3	69,5	63,2	68,1	± 3,18
20,0	68,3	69,8	71,2	74,6	76,3	74,2	72,4	± 2,83
30,0	83,6	87,4	88,6	90,3	90,2	94,5	89,1	± 3,29
40,0	140,2	138,6	132,4	130,2	140,0	135,0	136,4	± 3,82
50,0	150,2	146,6	140,1	138,9	152,3	165,3	148,9	± 8,80

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	254,6	262,3	274,8	280,6	249,6	272,5	265,7	± 11,14
10,0	71,2	70,6	68,4	67,3	75,3	81,6	72,4	± 4,85
20,0	74,2	77,6	79,8	70,2	79,4	79,6	76,8	± 3,26
30,0	88,2	87,6	84,3	80,1	81,2	77,8	83,2	± 3,84
40,0	136,7	132,6	150,2	149,5	150,8	171,8	148,6	± 11,61
50,0	187,4	185,2	180,1	178,2	186,9	198,8	186,1	± 6,62

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	102,1	106,4	103,6	109,4	98,6	88,4	101,4	± 6,72
10,0	62,4	62,3	59,4	64,3	62,1	52,9	60,4	± 3,65
20,0	69,4	68,7	70,6	74,2	75,4	69,5	71,3	± 2,56
30,0	78,9	77,6	79,4	81,3	79,2	74,0	78,4	± 2,25
40,0	90,2	88,6	84,6	82,2	91,5	81,3	86,4	± 3,92
50,0	89,1	85,4	87,6	90,2	87,6	83,3	87,3	± 2,20

Nota: r : repetición,  
 X : valor promedio,  
 desv. : desviación.

13. Valores de conductividad obtenidos por la especie *Pithecellobium pallens* en las mezclas de biosólido después de 10 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	118,4	181,2	174,6	176,4	180,5	176,4	178,0	± 2,35
10,0	54,6	56,2	60,2	61,4	53,6	62,6	58,1	± 3,45
20,0	59,4	62,1	60,3	54,6	62,3	58,9	59,6	± 2,38
30,0	58,2	64,3	61,2	59,0	59,6	59,8	60,3	± 1,98
40,0	60,4	63,1	58,6	56,6	63,9	62,2	60,8	± 2,56
50,0	64,2	63,2	58,6	57,4	68,3	80,1	65,3	± 7,54

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	192,6	194,3	146,7	154,7	149,8	202,1	173,3	± 23,27
10,0	63,8	60,2	56,4	58,2	70,1	79,5	64,7	± 7,96
20,0	75,6	72,1	70,2	78,9	81,6	78,8	76,2	± 4,00
30,0	99,4	92,6	91,3	98,6	99,8	96,7	96,4	± 3,31
40,0	87,4	86,2	84,3	81,1	93,2	89,0	86,7	± 4,03
50,0	106,1	102,3	106,8	112,6	114,6	120,0	110,4	± 5,94

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	260,4	275,6	283,4	296,9	302,6	272,0	281,8	± 14,47
10,0	83,2	84,6	91,6	90,3	94,6	84,3	88,1	± 4,28
20,0	84,9	96,9	102,3	101,4	99,8	86,3	96,1	± 5,99
30,0	101,6	103,2	114,2	110,6	118,6	106,4	109,1	± 6,01
40,0	140,3	139,6	129,8	130,1	158,6	145,2	140,6	± 9,77
50,0	192,3	198,6	201,6	206,4	209,4	200,1	201,4	± 5,09

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	108,6	106,7	104,3	94,6	88,4	76,3	96,5	± 11,46
10,0	78,4	76,2	72,3	78,6	85,2	79,1	78,3	± 3,85
20,0	84,6	88,2	80,9	83,4	92,6	88,7	86,4	± 3,86
30,0	90,1	89,6	84,2	82,3	92,5	99,5	89,7	± 5,61
40,0	110,9	114,6	106,2	105,3	114,8	109,4	110,2	± 3,41
50,0	109,8	106,3	102,4	114,6	112,8	108,7	109,1	± 4,03

Nota: r : repetición,  
X : valor promedio,  
desv. : desviación.

14. Valores de conductividad obtenidos por la especie *Pithecellobium ebano* en las mezclas de biosólido después de 12 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	190,2	180,6	191,4	186,4	179,8	193,6	187,0	± 5,26
10,0	54,2	58,6	50,4	51,3	56,1	69,6	56,7	± 6,40
20,0	57,6	59,4	55,6	60,1	58,0	51,9	57,1	± 2,73
30,0	60,3	61,2	56,4	53,2	64,1	63,0	59,7	± 3,79
40,0	66,6	69,6	68,2	74,6	72,6	69,6	70,2	± 2,67
50,0	64,1	72,3	73,2	68,6	75,2	70,2	70,6	± 3,59

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	102,6	109,4	100,3	96,4	89,6	110,4	101,4	± 7,21
10,0	60,6	56,2	59,6	63,5	64,8	62,5	61,2	± 2,82
20,0	62,3	64,3	70,2	71,4	72,6	69,6	68,4	± 3,77
30,0	71,6	74,6	70,2	68,9	76,8	74,7	72,8	± 2,78
40,0	85,3	86,1	94,3	89,6	91,2	82,7	88,2	± 3,90
50,0	14,9	19,3	11,8	12,6	22,1	20,1	16,8	± 3,90

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	263,0	242,0	274,6	281,6	243,6	232,8	256,3	± 17,97
10,0	67,4	68,2	60,1	59,6	75,2	84,2	69,1	± 8,56
20,0	78,6	81,2	72,3	74,6	78,9	72,8	76,4	± 3,34
30,0	83,1	80,2	79,4	86,3	79,6	77,4	81,0	± 2,90
40,0	89,8	86,2	81,3	83,4	88,6	86,7	86,0	± 2,69
50,0	130,6	126,1	120,6	114,6	135,2	128,9	126,0	± 6,75

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	X	desv
0,0	90,4	86,3	96,1	72,4	78,9	79,1	83,9	± 7,93
10,0	64,1	66,3	62,1	58,6	65,2	62,3	63,1	± 2,50
20,0	64,2	73,4	71,2	74,6	74,7	70,3	71,4	± 3,34
30,0	81,6	82,4	85,6	80,6	87,2	81,2	83,1	± 2,43
40,0	82,1	83,6	85,1	90,2	94,3	93,9	88,2	± 4,86
50,0	84,6	88,2	90,4	91,3	88,1	74,0	86,1	± 5,81

Nota: r : repetición,

X : valor promedio,

desv. : desviación.

15. Valores de potencial de hidrógeno obtenidos por la especie Sorgo sugar sweet en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo.

a) Testigo

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	Promedio	Desv. std
0% B	7,79	7,83	7,89	8,0	7,79	7,86	± 0,072
10% B	7,82	7,73	7,68	7,92	7,75	7,78	± 0,076
20% B	7,69	7,74	7,85	7,36	7,80	7,68	± 0,157
30% B	7,49	7,52	7,56	7,62	7,56	7,55	± 0,040
40% B	7,39	7,46	7,42	7,53	7,60	7,48	± 0,076
50% B	7,38	7,41	7,36	7,29	7,36	7,36	± 0,039

b) Tratamiento ácido

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	Promedio	Desv. std
10% B	6,02	6,09	5,99	6,15	6,10	6,07	± 0,057
20% B	6,09	6,17	6,12	6,20	6,12	6,14	± 0,039
30% B	6,13	6,18	6,09	6,10	6,25	6,15	± 0,059
40% B	6,53	6,64	6,71	6,54	6,54	6,59	± 0,071
50% B	6,92	6,78	6,83	6,69	6,78	6,80	± 0,075

c) Tratamiento alcalino

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	Promedio	Desv. std
10% B	7,48	7,51	7,39	7,36	7,36	7,42	± 0,063
20% B	7,52	7,46	7,59	7,38	7,50	7,49	± 0,069
30% B	7,62	7,58	7,51	7,49	7,60	7,56	± 0,051
40% B	7,63	7,71	7,74	7,68	7,64	7,68	± 0,041
50% B	7,81	7,79	7,75	7,89	7,91	7,83	± 0,060

d) Tratamiento bisulfito de sodio

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	Promedio	Desv. std
10% B	7,38	7,44	7,46	7,36	7,46	7,42	± 0,042
20% B	7,52	7,44	7,53	7,42	7,54	7,49	± 0,050
30% B	7,59	7,49	7,54	7,60	7,58	7,56	± 0,040
40% B	7,65	7,69	7,72	7,60	7,74	7,68	± 0,050
50% B	7,82	7,79	7,86	7,90	7,78	7,83	± 0,044

Nota: r : repetición,  
Desv. std : desviación.

16. Valores de potencial de hidrógeno obtenidos por la especie Sorgo DK-780 en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo.

a) Testigo

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	8,16	8,12	8,22	8,18	8,20	8,20	8,18	± 0,033
10%	7,79	7,82	7,89	7,93	7,79	7,94	7,86	± 0,063
20%	7,82	7,88	7,69	7,72	7,69	7,94	7,79	± 0,097
30%	7,68	7,58	7,64	7,61	7,58	7,63	7,62	± 0,035
40%	7,70	7,69	7,64	7,59	7,68	7,62	7,65	± 0,039
50%	7,48	7,37	7,41	7,39	7,44	7,43	7,42	± 0,035

b) Tratamiento ácido

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	6,14	6,18	6,09	6,08	6,10	6,13	6,12	± 0,034
20%	6,21	6,19	6,14	6,16	6,19	6,19	6,18	± 0,023
30%	6,20	6,29	6,32	6,31	6,20	6,24	6,26	± 0,049
40%	6,41	6,54	6,48	6,39	6,50	6,44	6,46	± 0,051
50%	6,92	6,89	6,84	6,95	6,82	6,92	6,89	± 0,046

c) Tratamiento alcalino

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	7,38	7,41	7,47	7,32	7,46	7,36	7,40	± 0,053
20%	7,29	7,34	7,41	7,46	7,26	7,40	7,36	± 0,070
30%	7,26	7,29	7,34	7,38	7,27	7,26	7,30	± 0,095
40%	7,92	7,84	7,91	7,80	7,69	8,0	7,86	± 0,099
50%	8,01	8,03	7,84	7,87	7,96	8,11	7,97	± 0,093

d) Tratamiento bisulfito

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	7,34	7,38	7,46	7,44	7,48	7,42	7,42	± 0,047
20%	7,80	7,78	7,91	7,84	7,89	7,76	7,83	± 0,055
30%	7,78	7,72	7,94	7,91	7,86	7,59	7,80	± 0,119
40%	7,90	7,98	7,93	7,88	7,90	8,05	7,94	± 0,058
50%	8,06	8,01	7,90	7,96	8,06	8,13	8,02	± 0,074

Nota: r : repetición.  
Desv. std : desviación.

17. Valores de potencial de hidrógeno obtenidos por la especie Maiz Hualauises en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo.

a) Testigo

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	8,16	8,18	8,24	8,26	8,16	8,20	8,20	± 0,038
10%	7,92	7,86	7,85	7,94	7,93	8,02	8,02	± 0,056
20%	7,80	7,78	7,88	7,91	7,83	7,96	7,96	± 0,063
30%	7,62	7,68	7,74	7,60	7,65	7,73	7,73	± 0,052
40%	7,28	7,26	7,38	7,40	7,20	7,40	7,40	± 0,077
50%	7,42	7,33	7,35	7,47	7,36	7,53	7,53	± 0,071

b) Tratamiento ácido

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	6,98	6,93	7,12	6,94	6,99	7,10	7,01	± 0,074
20%	7,08	7,14	7,11	6,98	7,09	7,02	7,07	± 0,054
30%	7,20	7,24	7,16	7,12	7,18	7,18	7,18	± 0,036
40%	7,48	7,61	7,59	7,64	7,63	7,41	7,56	± 0,085
50%	7,71	7,81	7,84	7,73	7,69	7,90	7,78	± 0,075

c) Tratamiento alcalino

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	7,83	7,87	7,79	7,76	7,88	7,91	7,84	± 0,052
20%	7,74	7,68	7,79	7,73	7,80	7,76	7,75	± 0,040
30%	7,61	7,57	7,63	7,68	7,69	7,60	7,63	± 0,043
40%	7,50	7,52	7,43	7,48	7,40	7,49	7,47	± 0,041
50%	7,60	7,67	7,65	7,58	7,60	7,68	7,63	± 0,038

d) Tratamiento bisulfito

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	7,80	7,83	7,74	7,76	7,82	7,79	7,79	± 0,032
20%	7,86	7,88	7,90	7,74	7,91	7,87	7,86	± 0,056
30%	7,94	7,96	7,88	7,84	8,00	7,84	7,91	± 0,056
40%	7,99	7,96	7,93	8,12	8,06	8,06	8,02	± 0,115
50%	8,20	8,22	8,17	8,14	8,13	8,22	8,18	± 0,036

Nota: r : repetición.

Desv. std : desviación.

18. Valores de potencial de hidrógeno obtenidos por la especie *Leucaena leucocephala* en las mezclas de biosólido después de 12 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc, biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	7,09	7,10	7,18	7,20	7,18	7,09	7,14	± 0,047
10%	8,78	8,74	8,86	8,83	8,79	8,80	8,80	± 0,038
20%	8,14	8,18	8,26	8,27	8,21	8,32	8,23	± 0,060
30%	8,71	8,60	8,72	8,80	8,69	8,74	8,71	± 0,060
40%	6,78	6,74	6,82	6,86	6,79	6,81	6,80	± 0,034
50%	7,65	7,59	7,60	7,72	7,74	7,72	7,67	± 0,060

b) Tratamiento ácido

Conc, biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	6,80	6,84	6,76	6,71	6,79	6,90	6,80	± 0,059
20%	7,12	7,09	7,02	7,14	7,10	7,13	7,10	± 0,039
30%	6,90	6,94	6,97	6,88	6,88	6,95	6,92	± 0,035
40%	6,60	6,58	6,68	6,70	6,58	6,58	6,62	± 0,050
50%	6,40	6,42	6,38	6,51	6,48	6,57	6,46	± 0,066

c) Tratamiento alcalino

Conc, biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	8,20	8,18	8,26	8,24	8,23	8,21	8,22	± 0,026
20%	8,45	8,48	8,52	8,36	8,40	8,31	8,43	± 0,058
30%	8,20	8,17	8,26	8,23	8,27	8,31	8,24	± 0,046
40%	8,60	8,70	8,62	8,73	8,65	8,48	8,63	± 0,080
50%	8,09	8,12	8,19	8,20	8,22	8,20	8,17	± 0,047

d) Tratamiento bisulfito

Conc, biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	6,20	6,16	6,26	6,30	6,32	6,20	6,24	± 0,057
20%	6,40	6,32	6,28	6,42	6,37	6,37	6,36	± 0,047
30%	6,03	5,98	5,99	6,12	6,12	6,12	6,06	± 0,062
40%	6,10	6,08	6,20	6,18	6,09	6,07	6,12	± 0,050
50%	5,90	5,93	6,10	6,08	5,90	6,09	6,00	± 0,090

Nota: r : repetición,  
Desv. std : desviación

19. Valores de potencial de hidrógeno obtenidos por la especie *Pithecellobium ebano* en las mezclas de biosólido después de 12 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	7,18	7,26	7,23	7,28	7,31	7,24	7,25	± 0,040
10%	8,64	8,58	8,56	8,68	8,58	8,74	8,63	± 0,061
20%	8,40	8,38	8,51	8,54	8,47	8,40	8,45	± 0,060
30%	8,28	8,23	8,33	8,38	8,46	8,24	8,32	± 0,081
40%	8,48	8,42	8,36	8,54	8,46	8,74	8,50	± 0,120
50%	8,62	8,54	8,51	8,63	8,59	8,77	8,61	± 0,083

b) Tratamiento ácido

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	6,08	6,06	6,18	6,14	6,16	6,22	6,14	± 0,055
20%	6,68	6,74	6,76	6,65	6,79	6,70	6,72	± 0,047
30%	6,80	6,88	6,78	6,89	6,98	6,81	6,85	± 0,068
40%	6,08	6,10	6,14	6,06	6,12	5,98	6,08	± 0,047
50%	6,30	6,26	6,18	6,12	6,31	6,21	6,23	± 0,067

c) Tratamiento alcalino

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	8,01	7,90	7,88	8,06	8,10	7,93	7,98	± 0,082
20%	8,03	7,98	7,93	8,02	8,04	8,00	8,00	± 0,036
30%	8,11	8,14	8,18	7,96	8,06	8,09	8,09	± 0,069
40%	8,10	8,19	8,13	8,06	8,20	8,22	8,15	± 0,057
50%	8,23	8,26	8,10	8,12	8,19	8,24	8,19	± 0,060

d) Tratamiento bisulfito

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	6,18	6,32	6,23	6,10	6,25	6,18	6,21	± 0,068
20%	6,32	6,40	6,23	6,28	6,29	6,40	6,32	± 0,062
30%	6,18	6,26	6,28	6,16	6,31	6,25	6,24	± 0,053
40%	6,46	6,51	6,38	6,32	6,43	6,42	6,42	± 0,059
50%	6,32	6,18	6,19	6,23	6,20	6,38	6,25	± 0,074

Nota: r : repetición,  
Desv. std : desviación

20. Valores de potencial de hidrógeno obtenidos por la especie *Phitecellobium pallens* en las mezclas de biosólido después de 10 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	7,40	7,48	7,54	7,38	7,51	7,39	7,45	± 0,063
10%	8,65	8,60	8,71	8,70	8,62	8,74	8,67	± 0,050
20%	8,73	8,76	8,68	8,70	8,73	8,84	7,74	± 0,051
30%	8,80	8,73	8,75	8,82	8,78	8,86	7,79	± 0,042
40%	8,71	8,78	8,82	8,83	8,86	8,80	8,80	± 0,097
50%	8,83	8,76	8,78	8,76	8,84	8,89	8,81	± 0,097

b) Tratamiento ácido

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	6,38	6,42	6,51	6,56	6,47	6,54	6,48	± 0,064
20%	7,18	7,10	7,23	7,22	7,12	7,29	7,19	± 0,065
30%	6,98	6,95	7,04	7,06	7,09	7,00	7,02	± 0,048
40%	6,38	6,35	6,45	6,43	6,51	6,40	6,42	± 0,052
50%	6,32	6,37	6,30	6,42	6,41	6,46	6,38	± 0,056

c) Tratamiento alcalino

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	8,50	8,46	8,42	8,54	8,60	8,36	8,48	± 0,078
20%	8,58	8,62	8,50	8,48	8,61	8,57	8,56	± 0,052
30%	8,20	8,12	8,16	8,17	8,20	8,11	8,16	± 0,035
40%	8,23	8,21	8,18	8,16	8,24	8,18	8,20	± 0,029
50%	8,02	8,06	7,99	7,93	8,12	8,06	8,03	± 0,060

d) Tratamiento bisulfito

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
10%	6,15	6,12	6,20	6,19	6,12	6,30	6,18	± 0,062
20%	6,10	6,16	6,08	6,20	6,13	6,17	6,14	± 0,041
30%	6,32	6,40	6,36	6,41	6,29	6,50	6,38	± 0,068
40%	6,48	6,50	6,53	6,39	6,52	6,40	6,47	± 0,055
50%	6,54	6,50	6,58	6,61	6,63	6,50	6,56	± 0,053

Nota: r : repetición.  
Desv. std : desviación.

21. Valores de alturas (en cm) obtenidos por la especie Sorgo Sugar sweet en las plantas desarrolladas en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo,

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	60,0	54,6	58,2	66,1	68,3	64,8	62,0	± 4,79
10,0	76,4	78,6	81,2	70,4	78,6	70,8	76,0	± 4,06
20,0	81,6	74,6	70,2	81,0	84,3	82,3	79,0	± 4,94
30,0	84,3	80,2	89,6	72,6	81,6	83,7	82,0	± 5,13
40,0	51,6	45,3	48,9	56,9	58,9	74,4	56,0	± 9,42
50,0	41,3	39,9	49,6	54,2	51,3	57,7	49,0	± 6,46

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	79,6	74,3	83,2	84,3	82,3	76,3	80,0	± 3,66
10,0	76,3	72,6	84,6	88,0	86,2	84,3	82,0	± 5,58
20,0	92,6	90,6	94,3	86,7	89,8	92,0	91,0	± 2,40
30,0	101,1	92,3	90,3	104,6	96,2	97,5	97,0	± 4,87
40,0	54,6	53,1	59,6	62,3	57,6	60,8	58,0	± 3,28
50,0	49,8	60,2	59,6	51,6	48,0	42,8	52,0	± 6,20

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	71,4	72,3	68,6	76,2	76,8	78,7	74,0	± 3,50
10,0	80,4	79,6	76,8	72,6	86,1	84,5	80,0	± 4,52
20,0	86,4	87,6	80,1	79,6	85,2	79,1	83,0	± 3,48
30,0	84,6	88,6	81,2	89,6	88,6	77,4	85,0	± 4,46
40,0	54,6	58,9	60,2	50,6	55,8	49,9	55,0	± 3,84
50,0	45,8	47,6	54,6	52,1	49,5	50,4	50,0	± 2,87

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	64,3	60,2	54,6	71,1	67,9	77,9	66,0	± 7,50
10,0	72,4	68,6	67,4	75,8	69,6	66,2	70,0	± 3,23
20,0	76,4	80,2	72,3	70,1	78,1	78,9	76,0	± 3,63
30,0	80,6	82,4	78,6	76,1	84,3	90,0	82,0	± 4,43
40,0	50,4	48,6	45,2	55,1	54,3	52,4	51,0	± 3,40
50,0	42,3	48,2	51,2	40,8	45,2	54,3	47,0	± 4,76

Nota: r : repetición.

X : valor promedio,

desv. : desviación.

22. Valores de alturas (en cm) obtenidos por la especie Sorgo DK-780 en las plantas desarrolladas en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo.

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	54,3	51,2	60,8	62,3	57,9	61,5	58,0	± 4,05
10,0	68,6	72,3	62,4	69,2	71,5	70,0	69,0	± 3,21
20,0	72,4	76,3	74,1	70,2	69,5	75,5	73,0	± 2,54
30,0	80,1	84,6	76,2	76,8	84,6	77,7	80,0	± 3,47
40,0	52,1	54,6	48,6	46,8	51,3	46,6	50,0	± 2,92
50,0	40,1	38,2	44,3	43,1	45,6	40,7	42,0	± 2,56

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	64,3	69,3	71,2	74,3	69,1	59,8	68,0	± 4,72
10,0	86,1	83,2	80,4	90,6	94,1	87,6	87,0	± 4,52
20,0	88,4	84,2	91,3	94,2	91,3	84,6	89,0	± 3,66
30,0	101,4	98,6	95,4	106,1	98,5	94,0	99,0	± 3,97
40,0	45,4	46,3	49,4	52,1	48,2	46,6	48,0	± 2,25
50,0	45,1	40,3	42,4	49,6	47,6	51,0	46,0	± 3,80

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	61,4	68,2	54,6	57,6	68,1	62,1	62,0	± 5,00
10,0	80,4	78,6	76,4	84,1	78,9	81,6	80,0	± 2,44
20,0	83,1	80,6	78,6	88,4	86,1	81,2	83,0	± 3,35
30,0	89,6	94,3	91,6	93,8	94,6	88,1	92,0	± 2,46
40,0	52,4	56,2	56,8	50,4	57,1	51,1	54,0	± 2,78
50,0	40,6	39,4	36,8	44,2	41,6	38,6	40,2	± 2,34

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	50,6	56,1	50,1	58,6	54,9	53,7	54,0	± 4,98
10,0	62,4	67,9	71,4	72,6	65,8	67,9	68,0	± 3,39
20,0	63,1	68,2	60,3	59,3	59,3	67,8	63,0	± 3,76
30,0	74,6	71,2	82,4	84,6	82,6	78,6	79,0	± 4,76
40,0	44,3	41,2	49,6	51,2	47,8	41,9	46,0	± 3,78
50,0	36,8	30,2	36,1	42,6	41,6	40,7	38,0	± 4,23

Nota: r : repetición,  
 X : valor promedio,  
 desv. : desviación.

23. Valores de alturas (en cm) obtenidos por la especie Maiz variedad Hualauises en las plantas desarrolladas en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo.

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	88,6	91,3	87,4	94,2	92,5	90,2	90,70	± 2,29
10,0	91,4	92,6	86,2	84,2	89,7	100,7	90,80	± 5,28
20,0	90,6	91,3	94,8	86,5	86,3	92,9	90,40	± 3,12
30,0	84,2	82,6	95,7	97,2	89,6	99,1	91,40	± 6,38
40,0	60,1	62,4	58,3	69,6	61,2	67,6	63,20	± 4,05
50,0	64,1	58,0	56,2	53,4	64,3	65,8	60,30	± 4,66

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	89,4	86,2	92,4	96,1	94,2	88,9	91,2	± 3,37
10,0	93,1	90,6	95,6	97,8	96,7	93,8	94,6	± 2,40
20,0	104,2	103,1	109,6	112,6	100,0	110,7	106,7	± 4,53
30,0	125,6	122,5	117,6	114,8	126,8	133,1	123,4	± 6,04
40,0	74,3	76,9	78,6	71,2	78,3	80,9	76,7	± 3,16
50,0	72,1	74,3	76,1	78,3	75,4	71,4	74,6	± 2,35

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	84,1	83,2	88,0	89,4	89,6	82,3	86,1	± 2,99
10,0	94,8	93,1	86,9	89,9	96,2	94,7	92,6	± 3,22
20,0	94,6	93,2	90,4	95,6	98,7	87,9	93,4	± 3,50
30,0	103,2	100,8	99,6	114,6	108,1	101,3	104,6	± 5,24
40,0	75,3	74,1	70,6	78,6	77,9	74,1	75,1	± 2,66
50,0	68,6	67,4	72,3	76,1	74,2	73,4	72,0	± 3,07

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	78,9	76,2	83,1	84,6	79,5	78,3	80,1	± 2,87
10,0	86,4	84,3	91,2	92,4	85,2	90,3	88,3	± 3,12
20,0	85,4	88,6	80,5	81,2	83,1	89,6	84,7	± 3,47
30,0	91,6	94,3	89,1	90,8	94,0	94,6	92,4	± 2,04
40,0	61,2	66,3	71,4	70,2	66,5	68,2	67,3	± 3,29
50,0	58,4	59,6	53,2	62,1	63,2	59,9	59,4	± 3,20

Nota: r : repetición,  
 X : valor promedio,  
 desv. : desviación.

24. Valores de alturas (en cm) obtenidos por la especie *Leucaena leucocephala* en las plantas desarrolladas en las mezclas de biosólido después de 12 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	34,2	32,6	40,1	38,4	39,2	42,3	37,80	± 3,36
10,0	43,5	42,3	41,6	38,9	41,3	39,6	41,20	± 1,56
20,0	48,6	43,2	42,1	47,4	51,2	51,9	47,40	± 3,69
30,0	64,8	66,3	61,2	69,3	64,8	73,2	66,60	± 3,80
40,0	42,3	40,1	38,10	37,40	35,2	27,7	36,80	± 4,63
50,0	41,2	36,8	38,3	40,1	36,2	42,0	39,10	± 2,17

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	42,3	43,2	44,2	40,1	42,3	42,3	42,4	± 1,35
10,0	48,3	42,4	44,3	46,1	48,9	47,2	46,20	± 2,26
20,0	56,4	58,6	57,6	54,1	60,2	57,5	57,40	± 1,88
30,0	40,6	42,3	38,6	39,4	41,3	39,0	40,20	± 1,32
40,0	38,6	36,2	37,4	39,6	40,5	36,3	38,10	± 1,61
50,0	32,6	39,4	27,6	29,1	32,8	34,1	32,60	± 3,78

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	42,6	45,3	47,6	48,4	46,5	48,0	46,40	± 1,99
10,0	47,4	51,3	50,1	51,2	53,2	48,0	50,20	± 2,00
20,0	66,1	66,2	64,3	62,1	67,8	65,9	65,40	± 1,79
30,0	74,2	75,6	77,4	78,1	79,6	75,9	76,80	± 1,77
40,0	56,4	59,3	58,2	54,2	56,9	63,6	58,10	± 2,92
50,0	36,2	32,4	40,2	41,6	39,8	40,2	38,40	± 3,15

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	29,6	28,4	32,3	33,1	34,2	29,0	31,10	± 2,20
10,0	35,6	34,2	39,2	37,6	41,8	40,8	38,20	± 2,70
20,0	36,4	40,2	41,1	37,6	42,3	38,8	39,40	± 2,02
30,0	24,1	27,8	26,4	25,6	28,3	24,4	26,10	± 1,58
40,0	21,6	19,4	18,6	22,1	21,6	19,1	20,40	± 1,40
50,0	17,4	16,3	18,4	20,1	19,2	19,6	18,50	± 1,31

Nota: r : repetición,  
 X : valor promedio,  
 desv. : desviación.

25. Valores de alturas (en cm) obtenidos por la especie *Pithecellobium pallens* en las plantas desarrolladas en las mezclas de biosólido después de 12 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	51,4	54,6	56,2	50,1	54,3	55,6	53,7	± 2,21
10,0	48,9	47,6	52,4	53,1	57,3	49,7	51,5	± 3,22
20,0	46,1	43,2	52,3	51,8	55,2	47,8	49,4	± 4,08
30,0	50,2	48,9	49,1	54,2	55,9	54,3	52,1	± 2,79
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
50,0	30,8	34,4	31,2	34,1	30,2	32,5	32,2	± 1,61

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	28,6	29,4	32,1	31,6	31,5	29,2	30,4	± 1,37
10,0	38,2	34,6	32,4	36,2	38,1	37,1	36,10	± 2,06
20,0	39,4	40,2	41,6	42,4	40,3	33,1	39,5	± 3,03
30,0	36,8	39,4	34,6	39,8	38,2	41,6	38,4	± 2,24
40,0	29,4	26,7	32,1	33,6	32,4	26,4	30,1	± 2,81
50,0	24,1	25,8	29,1	28,6	25,9	24,9	26,4	± 1,84

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	41,6	40,1	42,3	36,4	39,6	43,6	40,6	± 2,05
10,0	46,7	49,2	45,1	50,3	46,3	51,6	48,2	± 2,33
20,0	56,4	59,3	60,1	54,1	60,3	59,0	58,2	± 2,23
30,0	53,2	55,6	54,6	56,8	59,2	55,4	55,8	± 1,87
40,0	26,1	27,3	24,1	22,3	29,1	34,3	27,2	± 3,85
50,0	18,6	20,4	21,2	22,1	19,6	19,9	20,3	± 1,13

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	36,2	34,3	40,1	41,2	39,5	39,1	38,4	± 2,38
10,0	42,6	40,2	43,1	41,6	43,6	43,9	42,5	± 1,27
20,0	47,8	45,3	44,8	46,2	47,6	44,9	46,1	± 1,22
30,0	38,9	39,3	39,4	42,1	40,3	40,6	40,1	± 1,07
40,0	18,4	19,6	21,6	22,2	19,8	20,8	20,4	± 1,28
50,0	18,1	17,6	16,4	20,2	16,9	19,4	18,1	± 1,33

Nota: r : repetición,  
 X : valor promedio,  
 desv. : desviación.

26. Valores de alturas (en cm) obtenidos por la especie *Pithecellobium ebano* en las plantas desarrolladas en las mezclas de biosólido después de 12 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	15,1	16,6	18,2	20,3	14,3	18,7	17,20	± 2,08
10,0	18,6	17,4	14,2	22,1	20,3	17,2	18,30	± 2,46
20,0	7,3	8,6	13,1	8,50	9,8	9,7	9,50	± 1,81
30,0	6,5	5,8	6,9	7,4	7,3	6,9	6,80	± 0,54
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
50,0	-	-	-	-	-	-	-	-

b) Tratamiento ácido

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-
10,0	19,8	16,3	18,4	17,6	20,4	17,9	18,40	± 1,37
20,0	12,4	14,8	12,1	15,2	14,2	11,7	13,40	± 1,38
30,0	-	-	-	-	-	-	-	-
40,0	9,8	8,9	12,3	11,8	12,5	11,3	11,1	± 1,38
50,0	9,6	10,4	11,2	8,9	10,3	10,2	10,1	± 0,71

c) Tratamiento alcalino

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	8,9	9,6	10,1	10,4	9,2	8,2	9,40	± 0,74
10,0	16,2	15,4	18,3	14,2	17,3	15,8	16,20	± 1,32
20,0	8,6	12,4	9,6	6,78	10,8	10,6	9,80	± 1,78
30,0	4,1	3,8	4,6	5,1	4,9	5,1	4,60	± 0,50
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-
50,0	5,8	6,2	5,4	5,2	6,4	6,4	5,90	± 0,47

d) Tratamiento bisulfito

Conc. de biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	x	desv
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-
10,0	-	-	-	-	-	-	-	-
20,0	-	-	-	-	-	-	-	-
30,0	8,1	9,2	8,0	9,3	9,4	7,6	8,6	± 0,72
40,0	3,3	3,1	2,9	2,8	3,2	2,7	3,0	± 0,22
50,0	6,4	6,2	5,8	4,9	7,2	7,3	6,3	± 0,82

Nota: r : repetición,  
 X : valor promedio,  
 desv. : desviación.

27. Valores de biomasa (g) obtenidos por la especie *Sorgo Sugar sweet* en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo.

a) Testigo

Conc. biosólido	r1	r2	R3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	10,86	11,20	12,10	11,08	12,05	11,11	11,40	± 0,49
10%	14,23	13,90	13,87	14,09	15,10	13,41	14,10	± 0,51
20%	18,09	18,01	17,42	17,89	18,40	18,79	18,10	± 0,42
30%	20,91	21,23	21,58	22,40	22,50	19,78	21,40	± 0,93
40%	9,87	9,81	9,78	9,90	9,65	10,09	9,85	± 0,12
50%	8,36	8,42	8,59	8,76	8,32	7,95	8,40	± 0,25

b) Tratamiento ácido

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	9,77	9,63	9,91	9,99	10,01	9,91	9,87	± 0,132
10%	21,70	22,20	20,70	20,88	22,30	21,82	21,60	± 0,610
20%	24,10	25,20	23,80	24,50	25,10	26,10	24,80	± 0,765
30%	29,42	28,89	29,91	28,40	27,98	31,56	29,36	± 1,168
40%	10,09	9,98	9,78	10,23	10,14	9,96	10,03	± 0,146
50%	8,54	8,91	8,42	8,36	8,88	8,67	8,63	± 0,211

c) Tratamiento alcalino

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	9,84	9,47	10,20	10,06	10,14	10,35	10,01	± 0,286
10%	19,45	20,36	21,70	20,91	21,50	20,88	20,80	± 0,745
20%	21,80	20,93	21,40	22,05	23,10	20,32	21,60	± 0,877
30%	24,56	23,70	23,10	24,50	24,53	24,21	24,10	± 0,536
40%	9,80	9,23	9,72	9,01	9,56	9,08	9,40	± 0,308
50%	8,46	8,02	8,91	8,76	8,92	8,53	8,60	± 0,312

d) Tratamiento bisulfito

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	7,89	7,98	8,16	8,40	8,31	8,46	8,20	± 0,210
10%	13,01	12,98	12,76	13,24	13,40	13,20	13,10	± 0,207
20%	16,05	16,24	15,96	16,91	16,38	15,30	16,14	± 0,484
30%	23,10	22,40	22,05	23,01	22,87	22,17	22,60	± 0,411
40%	9,24	8,96	9,32	9,54	9,68	10,08	9,47	± 0,355
50%	8,37	8,06	8,50	8,09	8,24	8,12	8,23	± 0,159

Nota: r : repetición.

Desv. std : desviación.

28. Valores de biomasa (g) obtenidos por la especie Sorgo DK-780 en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo.

a) Testigo

Conc. biosólido	r1	r2	R3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	6,98	6,76	6,88	7,18	7,08	7,18	7,01	± 0,154
10%	8,10	8,01	8,34	8,45	8,16	8,26	8,22	± 0,147
20%	8,54	8,48	8,61	8,36	8,56	8,39	8,49	± 0,090
30%	9,28	9,32	9,45	9,52	9,41	9,12	9,35	± 0,129
40%	6,00	5,93	5,87	6,10	6,10	6,18	6,03	± 0,107
50%	5,38	5,51	5,58	5,23	5,51	5,31	5,42	± 0,123

b) Tratamiento ácido

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	9,48	9,62	9,56	9,39	9,68	9,63	9,56	± 0,098
10%	9,96	10,04	9,92	9,87	9,78	10,31	9,98	± 0,167
20%	15,01	14,86	14,02	13,10	14,56	14,61	14,36	± 0,642
30%	16,09	15,98	16,20	16,14	15,98	16,03	16,07	± 0,081
40%	7,01	6,94	7,12	7,16	7,13	7,12	7,08	± 0,078
50%	7,32	7,25	7,18	7,48	7,25	7,32	7,30	± 0,093

c) Tratamiento alcalino

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv Std
0%	8,48	8,36	8,61	8,58	8,76	8,57	8,56	± 0,122
10%	9,95	9,92	10,06	10,21	10,23	9,51	9,98	± 0,240
20%	11,42	11,29	11,06	10,98	11,42	11,09	11,21	± 0,175
30%	16,80	17,94	17,50	17,39	17,95	18,20	17,63	± 0,463
40%	8,06	8,09	7,86	7,94	8,10	8,13	8,03	± 0,096
50%	7,86	7,96	7,71	7,89	8,10	8,00	7,92	± 0,121

d) Tratamiento bisulfito

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	6,41	6,36	6,52	6,61	6,78	6,20	6,48	± 0,185
10%	7,18	7,36	7,54	7,61	7,10	7,07	7,31	± 0,209
20%	7,06	7,17	7,23	7,41	7,08	7,01	7,16	± 0,133
30%	9,01	9,18	9,21	8,91	9,23	8,94	9,08	± 0,130
40%	6,41	6,39	6,62	6,84	6,70	6,70	6,61	± 0,162
50%	5,18	5,06	5,50	4,90	5,02	5,48	5,19	± 0,227

Nota: r : repetición,  
Desv. std : desviación.

29. Valores de biomasa (g) obtenidos por la especie Maíz variedad Hualauises en las mezclas de biosólido después de 3 meses de cultivo.

a) Testigo

Conc. biosólido	r1	r2	R3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	20,60	21,40	22,10	20,10	22,10	20,30	21,10	± 0,814
10%	22,05	21,98	23,06	22,06	23,10	22,15	22,40	± 0,483
20%	23,10	24,30	22,60	22,91	23,40	22,29	23,10	± 0,641
30%	25,45	26,28	26,18	26,01	26,30	26,38	26,10	± 0,312
40%	11,38	11,10	11,41	11,16	11,60	11,75	1,40	± 0,227
50%	10,76	10,84	10,35	10,43	11,10	11,32	10,80	± 0,342

b) Tratamiento ácido

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	22,50	25,20	22,10	20,40	23,40	23,20	22,80	± 1,450
10%	31,20	28,10	27,80	29,56	30,56	30,38	29,60	± 1,263
20%	32,10	30,61	32,1	30,10	33,40	31,29	31,60	± 1,085
30%	34,60	35,20	36,10	33,40	35,80	39,70	35,80	± 1,951
40%	15,06	16,08	15,75	16,60	16,10	15,11	15,70	± 0,451
50%	15,10	14,10	14,06	15,09	14,80	14,45	14,60	± 0,427

c) Tratamiento alcalino

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	24,70	23,80	25,10	26,10	25,30	23,80	24,80	± 0,820
10%	29,70	26,06	27,80	28,10	29,20	30,74	28,60	± 1,499
20%	31,80	32,40	31,40	32,80	33,0	34,20	32,60	± 0,901
30%	36,75	35,98	35,90	36,40	36,45	35,12	36,10	± 0,524
40%	16,05	15,98	16,45	16,56	16,20	17,16	16,40	± 0,399
50%	15,75	15,62	16,05	16,10	16,23	15,05	15,80	± 0,394

d) Tratamiento bisulfito

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	18,40	19,10	19,40	19,21	18,69	19,80	19,10	± 0,456
10%	19,80	19,92	21,06	20,50	21,04	18,88	20,20	± 0,765
20%	17,45	17,38	17,23	17,60	18,00	16,74	17,40	± 0,380
30%	26,98	27,09	27,49	28,01	28,10	27,93	27,60	± 0,444
40%	13,91	12,98	13,46	14,10	14,20	14,15	13,80	± 0,442
50%	11,85	11,46	12,10	12,25	11,96	11,78	11,90	± 0,250

Nota: r : repetición,

Desv. std : desviación.

30. Valores de biomasa (g) obtenidos por la especie *Leucaena leucocephala* en las mezclas de biosólido después de 12 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc. biosólido	r1	r2	R3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	5,40	5,28	5,32	5,75	5,72	6,13	5,60	± 0,299
10%	5,92	5,86	5,79	5,68	5,93	5,74	5,82	± 0,091
20%	6,06	6,16	5,94	5,90	6,23	5,71	6,00	± 0,173
30%	7,60	7,23	7,06	7,09	7,26	6,96	7,20	± 0,205
40%	5,40	5,10	5,06	4,99	5,27	5,38	5,20	± 0,158
50%	5,45	5,86	5,65	5,73	5,80	5,71	5,70	± 0,130

b) Tratamiento ácido

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	4,60	4,72	4,92	4,88	4,93	4,75	4,80	± 0,120
10%	5,62	5,50	5,48	5,73	5,71	5,68	5,62	± 0,098
20%	6,76	6,78	6,84	6,88	6,91	6,63	6,80	± 0,092
30%	5,71	5,64	5,81	5,86	5,82	5,74	5,76	± 0,074
40%	5,32	5,38	5,29	5,56	5,48	5,49	5,42	± 0,097
50%	4,60	4,72	4,88	4,90	4,72	4,98	4,80	± 0,130

c) Tratamiento alcalino

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	5,10	5,09	4,86	4,90	4,79	4,66	4,90	± 0,156
10%	6,12	6,18	6,08	6,06	6,08	6,08	6,10	± 0,040
20%	7,01	6,98	6,91	7,08	7,14	7,24	7,06	± 0,108
30%	7,90	7,67	7,85	7,92	7,88	8,00	7,87	± 0,100
40%	6,72	6,80	6,96	6,93	7,10	6,89	6,90	± 0,120
50%	6,76	6,81	6,84	6,88	6,90	6,73	6,82	± 0,060

d) Tratamiento bisulfito

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	3,60	3,72	3,88	3,84	3,96	3,80	3,80	± 0,115
10%	5,20	5,10	5,48	5,52	5,30	5,80	5,40	± 0,231
20%	5,60	5,54	5,74	5,81	5,68	5,83	5,70	± 0,105
30%	4,63	4,83	4,91	4,72	4,88	4,83	4,80	± 0,096
40%	3,90	3,80	3,96	3,74	3,96	4,16	3,92	± 0,134
50%	3,71	3,68	3,80	3,81	3,82	3,74	3,76	± 0,053

Nota: r : repetición.

Desv. std : desviación.

31. Valores de biomasa (g) obtenidos por la especie *Pithecellobium pallens* en las mezclas de biosólido después de 10 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc. biosólido	r1	r2	R3	R4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	2,80	2,76	2,92	2,96	2,91	2,95	2,88	± 0,073
10%	2,54	2,48	2,64	2,68	2,83	2,43	2,60	± 0,134
20%	2,48	2,56	2,46	2,43	2,67	2,58	2,53	± 0,082
30%	2,60	2,62	2,71	2,69	2,54	2,38	2,59	± 0,109
40%	----	----	----	----	----	----	----	----
50%	1,94	1,92	1,98	2,01	1,95	1,96	1,96	± 0,028

b) Tratamiento ácido

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	1,76	1,68	1,82	1,84	1,86	1,84	1,80	± 0,062
10%	2,10	1,98	1,92	2,06	2,21	2,21	2,08	± 0,108
20%	2,17	2,20	2,10	2,12	2,20	2,11	2,15	± 0,041
30%	2,08	2,01	2,20	2,17	2,23	2,39	2,18	± 0,119
40%	1,92	1,96	2,06	2,10	1,96	1,88	1,98	± 0,076
50%	1,80	1,78	1,74	1,92	1,90	2,02	1,86	± 0,095

c) Tratamiento alcalino

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	2,81	2,92	2,96	2,84	2,91	2,96	2,90	± 0,056
10%	3,01	3,10	3,06	2,98	3,12	3,09	3,06	± 0,050
20%	3,28	3,32	3,18	3,10	3,18	3,32	3,23	± 0,082
30%	3,40	3,36	3,32	3,44	3,38	3,38	3,38	± 0,036
40%	2,38	2,37	2,46	2,47	2,35	2,37	2,40	± 0,046
50%	1,92	1,82	1,86	1,99	2,05	2,12	1,96	± 0,104

d) Tratamiento bisulfito

Conc. biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	1,96	1,92	2,04	2,12	2,10	2,22	2,06	± 0,100
10%	2,88	2,92	2,96	2,81	2,96	2,87	2,90	± 0,053
20%	2,92	2,98	3,02	2,82	2,96	3,06	2,96	± 0,076
30%	2,78	2,70	2,80	2,82	2,85	2,61	2,76	± 0,081
40%	1,76	1,86	1,90	1,92	1,82	2,02	1,88	± 0,082
50%	1,76	1,72	1,81	1,80	1,70	1,77	1,76	± 0,040

Nota: r : repetición,  
Desv. std : desviación.

32. Valores de biomasa (g) obtenidos por la especie *Pithecellobium ebano* en las mezclas de biosólido después de 12 semanas de cultivo.

a) Testigo

Conc, biosólido	r1	r2	R3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	1,88	1,79	1,72	1,84	1,90	1,85	1,83	± 0,060
10%	1,90	1,86	1,82	1,96	1,96	2,02	1,92	± 0,073
20%	0,92	0,99	1,02	0,89	1,01	0,99	0,97	± 0,048
30%	0,81	0,78	0,76	0,86	0,86	0,73	0,80	± 0,049
40%	----	----	----	----	----	----	----	----
50%	----	----	----	----	----	----	----	----

b) Tratamiento ácido

Conc, biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	1,52	1,46	1,42	1,56	1,50	1,42	1,48	± 0,052
10%	1,92	1,88	2,01	2,06	1,98	2,03	1,98	± 0,062
20%	1,71	1,76	1,80	1,82	1,82	1,65	1,76	± 0,062
30%	----	----	----	----	----	----	----	----
40%	1,64	1,71	1,58	1,60	1,70	1,55	1,63	± 0,059
50%	1,52	1,51	1,57	1,48	1,62	1,54	1,54	± 0,045

c) Tratamiento alcalino

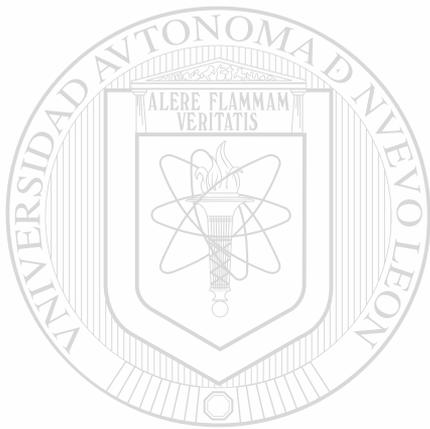
Conc, biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	1,88	1,94	1,93	1,84	1,93	2,00	1,92	± 0,050
10%	1,85	1,80	1,89	1,91	1,90	1,81	1,86	± 0,043
20%	1,06	0,98	0,94	1,10	1,06	0,98	1,02	± 0,056
30%	0,60	0,56	0,66	0,68	0,59	0,63	0,62	± 0,041
40%	----	----	----	----	----	----	----	----
50%	0,86	0,78	0,76	0,87	0,90	0,81	0,83	± 0,050

d) Tratamiento bisulfito

Conc, biosólido	r1	r2	r3	r4	r5	r6	Promedio	Desv std
0%	----	----	----	----	----	----	----	----
10%	----	----	----	----	----	----	----	----
20%	----	----	----	----	----	----	----	----
30%	0,89	0,92	0,96	0,86	0,97	0,92	0,92	± 0,038
40%	0,51	0,54	0,62	0,63	0,70	0,60	0,60	± 0,062
50%	0,84	0,76	0,71	0,87	0,89	0,73	0,80	± 0,070

Nota: r : repetición,

Desv. std : desviación.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



