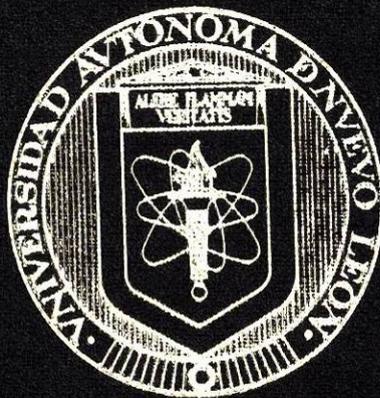


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



OPTIMIZACION DE MEZCLAS DE BIOSOLIDOS EN ENSAYOS
DE GERMINACION Y EVALUACION DEL PATRON DE
COMPORTAMIENTO DE TRES GENEROS DE LA
FAMILIA LEGUMINOSAE. (*Leucaena leucocephala*,
Pithecellobium ebano, *Pithecellobium pallens*).

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TITULO DE
BIOLOGO

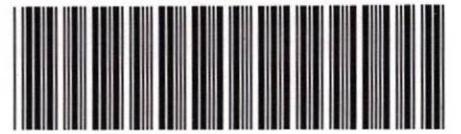
PRESENTA:

FERNANDO ARCIVAR GONZALEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.
NOVIEMBRE DEL 2000

FERNANDO ARCIVAR GONZALEZ

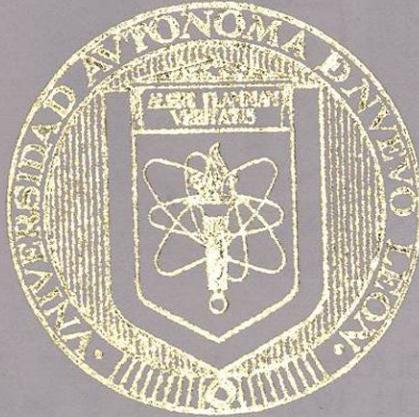
TL
TD760
.A7
c.1



1080094986

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



OPTIMIZACION DE MEZCLAS DE BIOSOLIDOS EN ENSAYOS
DE GERMINACION Y EVALUACION DEL PATRON DE
COMPORTAMIENTO DE TRES GENEROS DE LA
FAMILIA LEGUMINOSAE. (*Leucaena leucocephala*,
Pithecellobium ebano, *Pithecellobium pallens*).

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TITULO DE
BIOLOGO

PRESENTA:

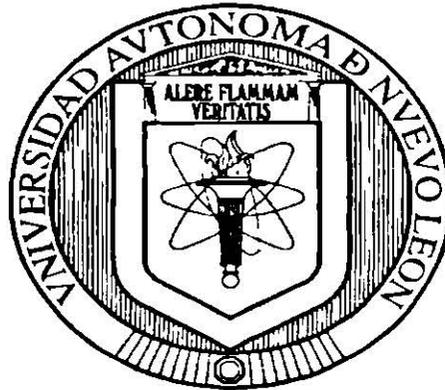
FERNANDO ARCIVAR GONZALEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.
NOVIEMBRE DEL 2000

TL
TDAGO
.A7



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



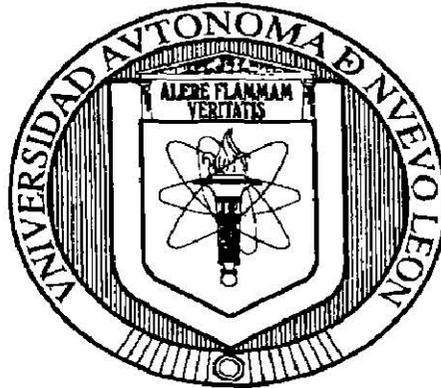
OPTIMIZACION DE MEZCLAS DE BIOSOLIDOS EN ENSAYOS
DE GERMINACION Y EVALUACION DEL PATRON DE
COMPORTAMIENTO DE TRES GENEROS DE LA
FAMILIA LEGUMINOSAE. (*Leucaena leucocephala*,
Pithecellobium ebano, *Pithecellobium pallens*).

TESIS
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TITULO DE
BIOLOGO

PRESENTA
FERNANDO ARCIVAR GONZÁLEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, NUEVO LEON
NOVIEMBRE DEL 2000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



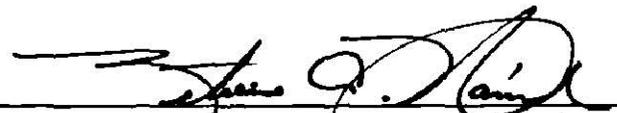
OPTIMIZACION DE MEZCLAS DE BIOSOLIDOS EN ENSAYOS
DE GERMINACION Y EVALUACION DEL PATRON DE
COMPORTAMIENTO DE TRES GENEROS DE LA
FAMILIA LEGUMINOSAE. (*Leucaena leucocephala*,
Pithecellobium ebano, *Pithecellobium pallens*).

TESIS
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TITULO DE
BIOLOGO

PRESENTA
FERNANDO ARCIVAR GONZÁLEZ

DIRECTOR

COORDIRECTOR



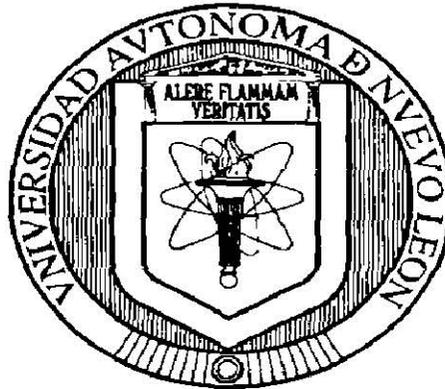
DRA. LETICIA A. HÁUAD MARROQUÍN



DR. RAHIM FOROUGHBAKHCH P.

NOVIEMBRE DEL 2000

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



OPTIMIZACION DE MEZCLAS DE BIOSOLIDOS EN ENSAYOS
DE GERMINACION Y EVALUACION DEL PATRON DE
COMPORTAMIENTO DE TRES GENEROS DE LA
FAMILIA LEGUMINOSAE. (*Leucaena leucocephala*,
Pithecellobium ebano, *Pithecellobium pallens*).

COMISION DE TESIS

Presidente: Dra. Leticia A. Háuad Marroquín

Secretario: Dr. Baltazar Cuevas Hernández

Vocal: Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab

Suplente: M.C. Adriana Nuñez González

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Leticia A. Háud Marroquín por incorporarme en el proyecto SIREYES, para la conclusión de mi carrera, por ayudarme en mi formación profesional, forjándome un poco más el carácter así también por su incondicional amistad, consejos y una que otra crítica constructiva.

Al Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab por sus consejos brindados para la elaboración de la presente investigación, por la ayuda con respecto a la estadística aplicada, por su excelente trato, amistad y ejemplo.

Al Dr. Baltazar Cuevas Hernández por su incorporación en la comisión de tesis, por la ayuda desinteresada, la revisión y sugerencias del texto.

A la M.C. Adriana Nuñez por la revisión y consejos del texto.

A la C. a. Dr. Edna E. Ponce Moreno por su amistad, consejos y discusiones en la elaboración de la investigación. ¡Gracias Edna!

A la Q.B.P. Mayra Ruíz Hernández por su amistad y ayuda con respecto a la metodología.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Al Sistema de Investigadores Alfonso Reyes por su aceptación en el proyecto: Estudio sobre el comportamiento de especies vegetales de zonas áridas en suelos enriquecidos con lodos estabilizados bajo condiciones controladas con la clave: 970406001, así mismo por otorgar beca para la realización de la presente investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por brindarnos apoyo financiero por medio del proyecto 26695-B.

Al Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey por brindarnos el material (biosólidos) para la realización de la presente investigación.

DEDICATORIA

A DIOS, por brindarme la exquisita oportunidad de poder ser.

A mi padre el Sr. Francisco Arcivar Nuncio, por tu excelente ejemplo, tu manera de ser, amarme y respetarme, por tus llamadas de atención y preocupación aun cuando intento ser adulto, por tus sabias palabras cuando charlamos, por todas esas cosas que solo un padre puede ofrecer. Gracias Papá.

A mi madre la Sra. Esperanza González Castillo, por todos tus desvelos, regaños, preocupaciones, cuidados desde niño aun cuando era un verdadero travieso por tratar junto con Papá de hacer un hombre de bien. Por cada una de todas las cosas que haces con amor. Gracias Mamá.

A Delia por estar siempre a mi lado en cada momento en que la necesito, y por comportarse como hermana mayor en su momento, a mis sobrinas Jessica Edith y Karen Janeth por endulzar con alegría la casa, con sus ocurrencias y sonrisas.

A mis familia por brindarme el mejor ejemplo de comunión y por todos estos años de paz, gozo y felicidad.

A mis amigos de generación por brindarme su amistad y consolidar esta unión llamada fraternidad.

Chavez Zamarripa Pablo

Gómez Gutiérrez Jorge G.

Medellín José J.

Moreno Marroquín David A.

Oliva Lucio A.

Ramos Alfano Gerardo

Rodríguez Cantú Luis C.

CONTENIDO

| | PAGINAS |
|----------------------------------|----------|
| LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS | II - IV |
| LISTA DE NORMAS Y METODOS | V - VI |
| LISTA DE TABLAS | VII |
| FIGURA | VIII |
| CUADRO SINOPTICO | VIII |
| LISTA DE FOTOGRAFIAS | VIII |
| RESUMEN | IX |
| ABSTRAC | X |
| INDICE | XI - XII |
| INTRODUCCION | 1 |
| OBJETIVOS | 2 |
| HIPOTESIS | 2 |
| ANTECEDENTES | 3 |
| MATERIAL Y METODO | 40 |
| RESULTADOS | 44 |
| DISCUSIONES | 55 |
| CONCLUSIONES | 62 |
| RECOMENDACIONES | 64 |
| APENDICE DE METODOLOGIA | 67 |
| FOTOGRAFIAS | 75 |
| LITERATURA CONSULTADA | 84 |

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

| | |
|--------------------------------|--|
| % | Por ciento |
| µmhos | Micromhos |
| °C | Grados Centigrados |
| AA | Análisis de Aguas |
| AATP | Pariatona |
| Al | Aluminio |
| As | Arsénico |
| cm | Centimetro |
| cm ² | Centimetro cuadrado |
| cm ³ | Centimetro cubico |
| Ca | Calcio |
| CB | Cloro benceno |
| Cd | Cadmio |
| CFR | Código de Regulaciones Federales |
| CIC | Capacidad de Intercambio Cationico |
| cm | Centimetro |
| Cond | Conductividad |
| Cr | Cromo |
| CRETIB | Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico infeccioso. |
| Cu | Cobre |
| CH ₄ | Metano |
| d | Día |
| DCB | 1,4-Dicloro benceno |
| DCE | Dicloro etileno |
| DQO | Demanda Química de Oxígeno |
| E.U.A | Estados Unidos de America |
| ECOL | Ecología |
| EDARU | Estaciones Depuradoras de Agua Residual Urbana |
| EPA | Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América |
| FAO | Organizacion de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación |
| gr | Gramo |
| gr/p/d | Gramos por persona por día |
| hr | Hora |
| H ₂ SO ₄ | Ácido sulfúrico |

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

| | |
|--------------------------------------|---|
| HCb | Hexacloro benceno |
| HCl | Ácido clorhídrico |
| Hg | Mercurio |
| INEGI | Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática |
| Kg | Kilogramo |
| Kg/cm² | Kilogramo por centímetro cuadrado |
| Lps | Litros por segundo |
| m | Metro |
| m³ | Metros cúbicos |
| m³/d | Metros cubicos por día |
| Mg | Magnesio |
| mg/k | Miligramo por kiligramo |
| mg/l | Miligramos por litro |
| min | Minuto |
| ml | Mililitro |
| mm | Milímetro |
| MO | Materia orgánica |
| Mty | Monterrey |
| N | Normalidad |
| N. L. | Nuevo León |
| N₂ | Nitrógeno |
| Na₂HSO₃ | Bisulfito de sodio |
| NaOH | Hidróxido de sodio |
| Ni | Niquel |
| nm | Nanometro |
| NMP | Número Más Probable |
| NMX | Normas Mexicanas |
| NOM | Normas Oficiales Mexicanas |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| P | Fosfóro |
| PACT | Proceso de Tratamiento con Carbono Activado |
| Pb | Plomo |
| PCB's | Policlorobencenos |
| PCE | Pentacloro etileno |
| pH | Potencial de hidrógeno |
| PNUMA | Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| ppm | Partes por millón |

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

| | |
|-----------------|--|
| PTAR's | Planta Tratadora de Aguas Residuales |
| s | Segundo |
| SADM | Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey |
| SEMARNAP | Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca |
| sp | Especie |
| ssp | Subespecie |
| ST | Sólidos Totales |
| TOL | Refiere a tolueno |
| TCE | Tricloro etileno |
| TCE | Tetracloro etileno |
| Ton/ha | Toneladas por hectarea |
| Temp | Temperatura |
| UNESCO | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura |
| VC | Cloruro de vinilo |
| Zn | Zinc |

LISTA DE NORMAS Y METODOS

| | |
|----------------------------|---|
| APHA-AWWA-WPCF-1992 | Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. |
| EPA 200.7 | Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometric method for trace element analysis of water and waste. |
| Método de Olsen | Determinación de fosforo total. |
| NMX-AA-016-1984 | Protección al ambiente, contaminación del suelo residuos sólidos municipales. Determinación de Humedad. |
| NMX-AA-021-1985 | Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales. Determinación de Materia Orgánica. |
| NMX-AA-024-1984 | Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales. Determinación de Nitrógeno Total. |
| NMX-AA-025-1984 | Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales. Determinación de Potencial de Hidrógeno método Potenciométrico. |
| NMX-AA-036-1980 | Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales. Determinación de Alcalinidad. |
| NMX-AA-042-1987 | Calidad de agua determinación de Número Más Probable (NMP) coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y <i>Escherichia coli</i> presuntiva. |
| NMX-AA-093-1984 | Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales. Determinación de Conductividad Eléctrica. |

LISTA DE NORMAS Y METODOS

| | |
|--------------------------|---|
| NMX-AA-100-1987 | Protección al ambiente. Determinación de Conductividad Eléctrica. |
| NOM-AA-008-1980 | Protección al ambiente. Determinación de potencial de hidrógeno. |
| NOM-AA-020-1981 | Protección al ambiente. Determinación de Sólidos. |
| NOM-AA-038-1981 | Protección al ambiente. Determinación de Turbiedad. |
| NOM-AA-050-1980 | Protección al ambiente. Determinación de Fenol. |
| NOM-ECOL-001-1996 | Determina los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residual en aguas y bienes nacionales |
| NOM-ECOL-052-1993 | 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-ECOL-052-1993 | 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. |

LISTA DE TABLAS

| | Páginas | |
|----------|--|---------|
| Tabla 1 | Comparación de métodos de tratamiento para eliminación de residuos | 4 |
| Tabla 2 | Efectos sobre la salud de algunos metales pesados | 10 |
| Tabla 3 | Valores de los Límites Máximos Permisibles | 10 |
| Tabla 4 | Diferencia en las concentraciones de metales pesados con respecto a los parámetros del suelo | 10 |
| Tabla 5 | Bacterias, Parásitos y Virus encontrados en los biosólidos y las enfermedades que transmiten | 11 |
| Tabla 6 | Características del lixiviado que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente | 13 |
| Tabla 7 | Concentraciones máximas permisibles de orgánicos | 14 |
| Tabla 8 | Concentraciones máximas permisibles de orgánicos volátiles | 15 |
| Tabla 9 | Porcentajes de fuetes de producción de metales pesados | 21 |
| Tabla 10 | Concentraciones de metales en suelos en diferentes períodos | 22 |
| Tabla 11 | Principales usos de metales | 23 |
| Tabla 12 | Movilidad de metales pesados con respecto al pH | 25 |
| Tabla 13 | Resultado del análisis CRETIB practicado al Biosólido en base seca | 44 - 45 |
| Tabla 14 | Características del Suelo en base a parámetros de fertilidad y otros elementos | 46 |
| Tabla 15 | Concentraciones de metales esenciales para el desarrollo de la planta en suelo (antes de mezcla) | 46 |
| Tabla 16 | Porcentaje de germinación | 47 |
| Tabla 17 | Cuantificación de micro y macronutrientes en función de suelos y concentraciones de biosólidos en mezclas en las especies de estudio (ppm) a), b) y c) | 47 |
| Tabla 18 | Determinación de metales pesados en testigo y mezclas (ppm) | 48 |
| Tabla 19 | Conductividad y potencial de hidrógeno en suelo cultivado a), b) y c) | 49 |
| Tabla 20 | Microbiología final de mezclas en coliformes fecales y totates en suelos y mezclas | 50 |
| Tabla 21 | Crecimiento de las plantas en diferentes tratamientos con biosólidos | 50 |
| Tabla 22 | Producción de biomasa en diferentes tratamientos con biosólidos | 51 |
| Tabla 23 | Análisis de varianza para altura en función de tratamientos y especies | 51 |
| Tabla 24 | Análisis de varianza correspondiente al número de ramas de ramas de especies en función de tratamientos | 52 |
| Tabla 25 | Análisis de varianza correspondiente al número de ramas de especies en función de tratamientos | 53 |
| Tabla 26 | Análisis de varianza sobre la mortandad de especie en función de tratamientos | 53 |
| Tabla 27 | Análisis de varianza sobre la mortandad de especies en función del tiempo | 53 |
| Tabla 28 | Comparación múltiples de medias en función de diferentes niveles | 54 |

CUADRO SINOPTICO

| | Página |
|--|--------|
| Cuadro sinóptico 1 Elementos esenciales para la mayoría de las plantas superiores y concentraciones internas que se consideran adecuadas | 37 |

FIGURA

| | Página |
|--|--------|
| Figura 1 Sistemas reguladores del letargo en las semillas y posible acción exógena sobre ellos | 39 |

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

| | Páginas |
|---|---------|
| Fotografía 1 <i>Leucaena leucocephala</i> comparación del tratamiento 1 contra el 2 | 75 |
| Fotografía 2 <i>Leucaena leucocephala</i> ejemplares del tratamiento 3 | 75 |
| Fotografía 3 <i>Leucaena leucocephala</i> ejemplares del tratamiento 4 | 76 |
| Fotografía 4 <i>Leucaena leucocephala</i> ejemplares del tratamiento 5 | 76 |
| Fotografía 5 <i>Pithecellobium ebano</i> comparación de los primeros 3 tratamientos | 77 |
| Fotografía 6 <i>Pithecellobium pallens</i> tratamiento 1 | 78 |
| Fotografía 7 <i>Pithecellobium pallens</i> comparación de los tratamientos 1 y 2 | 78 |
| Fotografía 8 <i>Pithecellobium pallens</i> comparación de los tratamientos 2 y 3 | 79 |
| Fotografía 9 <i>Pithecellobium pallens</i> comparación de los tratamientos 3 y 4 | 79 |
| Fotografía 10 <i>Pithecellobium pallens</i> comparación de los tratamientos 6 y 5 | 80 |
| Fotografía 11 Invernadero | 81 |
| Fotografía 12 Molino PULEX | 81 |
| Fotografía 13 Representación de mezclas 10% biosólido 90% suelo | 82 |
| Fotografía 14 Representación de mezclas 20% biosólido 80% suelo | 82 |
| Fotografía 15 Método físico para romper la dormancia | 82 |
| Fotografía 16 Plantula de una semana | 83 |
| Fotografía 17 Planta de cuatro semanas de edad | 83 |

RESUMEN

Hoy en día la biorrecuperación y gestión de los residuos deben favorecer su reciclaje y la utilización de materiales recuperados como fuente de energía o materias primas, a fin de contribuir a la preservación y uso racional de los recursos naturales. Las Plantas Tratadoras de Aguas Residuales (PTAR's), tienen la capacidad de resolver los problemas del abastecimiento y calidad del agua, sin embargo durante el proceso se generan biosólidos que pueden presentar características que por Norma Oficial deben ser confinados, por otra parte también se sabe que presentan macro y micronutrientes necesarios para el desarrollo de algunas especies. El por ello fueron incorporados a las siguientes especies de zonas áridas en forma de mezclas con suelo, en condiciones controladas se estudio el crecimiento de 3 especies en 6 proporciones (0, 10, 20, 30, 40 y 50%) de biosólidos. El crecimiento fue medido por 10 semanas. Teniendo excelentes resultados para *Leucaena leucocephala* en las proporciones 10, 20, 30% (testigo=26.76, 26.1, 31.625 y 32.8cm.) en el caso de *Pithecellobium pallens* el mayor crecimiento se registró en la concentración de 30% (32.0 cm.) en contra parte la especie de *Pithecellobium ebano* presentó un alto valor de mortandad aún así el mayor crecimiento fue para la concentración 10% (12.5 cm). Con esto resultados se concluye que la incorporación de biosólidos aporta macro y micronutrientes en suelos pobres de materia orgánica, Mg, Mn y Zn. Al mismo tiempo existe un beneficio para las empresa generadoras ya que disminuyen gastos al no tratar sus residuos en empresas de confinamiento.

Palabras clave: PTAR's, Biosólidos.

ABSTRACT

Nowdays the biorecovery and management must favor its recycling and the use of recovered materials as source of power or raw material, in orden to contribute to the national preservation and use of natural source. Water processing plants have the capacity of solving the problem of water supply and water quality, howovwer, during this process, they are produced biosolids that may present some characteristic and must be confined by an official decret, on the other hand, it is know also biosolids present macro and micro nutritive sustances, needed for the development of certain species. It was the reason for being included in the fowolling species from dry zones in from of mixture with the soil. It was studied, under cobtrolled conditions, the growth of three species in biosolids proportions (10,20,30,40 y 50%). The growth was reasured for 10 weeks. It was obtained excellent results for *Leucaena leucocephala* in 10, 20 y 30% proporcions (mitness=26.76, 26.1, 31.625 and 32.8cm) In case of *Pithecellobium pallens* the larger bigger growth was registred in the 30% concentration (32 cm) on the contrary the species *Pithecellobium ebano* shown a high rate or mortality, cren so the high rate was for the 10% concentration (12.5cm). In conclusion the incorporation of biosolids contribut whit macro and micro nutritive sustances in poor soils with lack of organic matter, Mg, Mn and Zn. At the same time, there isa benefit for the enterprises because it represents a disminution in cost at not decling treating, handling its waste in outraseous confinement enterprises.

Keywords: Wasterwater, biosolids.

| | Páginas |
|---|---------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS | 2 |
| HIPOTESIS | 2 |
| ANTECEDENTES | 3 |
| Aspectos sobre la legislación de biosólidos | 8 |
| Contaminantes patógenos y parasitarios | 10 |
| Aplicación de los biosólidos | 16 |
| Estudios sobre biosólidos en Nuevo León | 19 |
| Suelo | 19 |
| Requerimientos de las plantas | 34 |
| Importancia de las leguminosas | 37 |
| Procesos de germinación | 38 |
| MATERIAL Y METODO | 40 |
| Muestreo y secado del lodo | 40 |
| Análisis de CRETIB y determinación de metales | 40 |
| Muestreo y análisis del suelo | 40 |
| Selección de especies vegetales y descripción botánica | 41 |
| Descripción botánica de las especies | 41 |
| Muestreo de semillas y pruebas de germinación | 42 |
| Elaboración de mezclas de suelo con biosólidos | 43 |
| Diseño experimental y análisis estadístico | 43 |
| RESULTADOS | 44 |
| Características del biosólido | 44 |
| Características del suelo | 46 |
| Valor promedio de germinación de especies | 47 |
| Determinación de macro y micronutrientes en las especies de estudio | 47 |
| Resultados de las concentraciones de metales pesados | 48 |

| | |
|---|----|
| Resultados de las concentraciones de metales pesados | 48 |
| Conductividad eléctrica expresada en $\mu\text{mhos/cm}$ | 48 |
| Potencial de hidrogeno expresado como pH | 48 |
| Resultados microbiológicos iniciales expresados en NMP | 49 |
| Resultados microbiológicos finales en mezclas | 49 |
| Crecimiento y comportamiento de plantas | 50 |
| Biomasa expresados en gramos | 51 |
| DISCUSIONES | 55 |
| CONCLUSIONES | 62 |
| RECOMENDACIONES | 64 |
| APENDICE DE MATERIAL Y METODO | 67 |
| Número más probable de coliformes totales y fecales | 67 |
| Determinación de <i>Salmonella</i> | 67 |
| Determinación de <i>Shigella</i> : | 67 |
| Determinaciones parasitológicas | 67 |
| Pruebas de laboratorio para el grupo de bacterias coliformes muestreo | 67 |
| Prueba presuntiva para el grupo coliforme | 69 |
| Análisis realizados en el suelo | 70 |
| Evaluación de la humedad | 70 |
| Capacidad de retención de agua | 70 |
| Determinación de la conductividad eléctrica | 70 |
| Determinación del nitrógeno | 71 |
| Evaluación del contenido de potasio | 71 |
| Determinación del fósforo total | 71 |
| Evaluación de metales pesados | 72 |
| Prueba del oxígeno disuelto | 72 |
| Prueba de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | 73 |
| FOTOGRAFIAS | 75 |
| LITERATURA CONSULTADA | 84 |

INTRODUCCION

En países en vías de desarrollo como México, la escasez y la evidente crisis de agua en sus zonas áridas y semiáridas es cada vez más severo, por lo que es conveniente reutilizar aguas residuales en el desarrollo de la agricultura y la comunidad. Para ello es indispensable someter a tratamiento esas aguas de acuerdo a las Normas Ecológicas reduciendo los riesgos a la salud pública.

Con el fin de remediar el problema del abastecimiento de agua el gobierno a implementado a través de la Dirección de Agua y Drenaje de Monterrey (S. A. D. M.), el programa Monterrey IV, programa para el abastecimiento con la construcción de sistemas de recolección de agua "Presas" y posteriormente el establecimiento de Plantas Tratadoras de Agua a fin de cubrir la demanda creciente de la población. Nuevo León cuenta actualmente con una población de 3.82 Millones de habitantes (INEGI, 2000), con una gran cantidad de industrias por lo que ha sido beneficiado con la construcción de éstas plantas, que pueden resolver en parte el grave problema de abastecimiento de agua. Las principales plantas son:

- **Planta Noreste:** ubicada en Apodaca N.L. la cual presenta una capacidad promedio de tratamiento de 500 lps. donde el tipo de tratamiento es de lodos activados con aireación extendida y la cantidad de habitantes beneficiados es aproximadamente de 240,000.
- **Planta Norte:** localizadas en Escobedo N.L. presenta capacidad promedio de tratamiento 2,500 lps. el tipo de tratamiento emplea a lodos activados con aireación por difusión a contracorriente y beneficia a 860,000 habitantes.
- **Planta Dulces Nombres:** se encuentra en Pesquería N.L., la cual labora con una capacidad promedio de tratamiento de 5,000 lps. tipo de tratamiento lodos activados con aireación por difusión con oxígeno puro habitantes beneficiados 1,800,000.

Sin embargo, al final del proceso en la depuración de las aguas tratadas se generan 611 toneladas de residuos diarios, un desecho que queda en forma de lodo denominado biosólido. Constituido en aproximadamente un 90% por agua y el restante 10% de sólidos que son, ricos en materia orgánica, micronutrientes y minerales, así como metales pesados entre los que figuran mercurio, plomo, selenio, cadmio, cromo, etc.; además de plaguicidas, sustancias químicas domésticas como limpiadores, aceites, compuestos volátiles, desechos tóxicos industriales, etc. (SEMARNAP, 2000).

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los residuos generados en el proceso de tratamiento del agua residual, incorporarlos a suelos agrícolas para determinar la dosis adecuada y su efecto sobre el comportamiento de algunas especies de la familia Leguminosae bajo las normas ecológicas preestablecidas sobre la preservación del medio ambiente

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la composición química y bacteriológica del biosólido.
- Determinar la dosis adecuada de biosólidos para la incorporación a suelos agrícolas con cultivos de especies leguminosas.
- Cuantificar la posible absorción y patrón de distribución de metales pesados en las plantas de estudio.
- Observar si la concentración de biosólidos modifica el patrón del comportamiento y el desarrollo de las especies.
- Determinar el aumento de metales pesados por la inclusión de biosólidos en suelos agrícolas.

HIPOTESIS

Es factible la incorporación de biosólidos a suelo agrícola como fertilizante para enriquecer el suelo, mejorar el desarrollo y producción de las especies vegetales.

ANTECEDENTES

La década de los 90 ha sido testigo de una importante expansión del uso de la biorrecuperación para degradar los residuos peligrosos, incluyendo las primeras aplicaciones comerciales de microorganismos sometidos a ingeniería genética. El progreso en esta nueva área del conocimiento continúa a una velocidad impresionante. Sin embargo, el éxito futuro de la biorrecuperación depende no solamente de los logros científicos, sino también de la política y los requisitos reglamentarios (Day, 1990).

Existen diversos métodos, para la recuperación de residuos contaminados. Cada uno presenta ventajas y desventajas, y en ocasiones, lo más rápido y rentable es la combinación de métodos físico-químicos.

Para eliminar los residuos peligrosos han sido eficaces la aplicación de diversos tratamientos no biológicos, como los métodos físico-químicos que incluyen: el almacenamiento a largo plazo, los vertederos, la incineración y el arrastre por aire. El almacenamiento a largo plazo y el vertido presentan una serie de ventajas y desventajas similares, como no se manipula el material tóxico, el costo suele ser mínimo, siempre y cuando se pueda conseguir un lugar razonablemente cercano para el almacenamiento o vertido. El mayor costo puede llegar a ser excesivo si la distancia es muy grande. En la actualidad, la situación suele complicarse debido al rechazo del público respecto al desarrollo de instalaciones de almacenamiento a largo plazo. Debido a la posibilidad de que se den condiciones de mantenimiento insuficientes y que produzca una posible lixiviación al suelo o a las aguas subterráneas incrementado el nivel de inquietud pública. La incineración y el arrastre por aire tienen como ventaja su capacidad para hacer descender la cantidad presente de material tóxico. La incineración consume energía y también puede llevar a la producción de otros materiales tóxicos, por ejemplo: dioxinas, que requieren de una costosa depuración antes de poder salir a la atmósfera. El arrastre por aire provoca también la emisión al ambiente de pequeñas cantidades de compuestos tóxicos, y según el método utilizado, puede implicar la necesidad de transferencia de los materiales tóxicos al carbono tóxico, que a su vez necesitaría un tratamiento. En muchos casos es preferible, por consideraciones tanto económicas como de tiempo, la combinación de un tratamiento biológico con otro físico-químico (Levin, et al., 1997).

Mizrahi en 1989 revisó los distintos métodos de tratamiento utilizados en los digestores de biogás, las tecnologías de digestión anaerobia, y los aspectos de digestión que dan lugar a una operación más eficaz en una planta de agua residual. Los primeros estudios recomendaron el uso de grava como medio soporte en un filtro percolador. Los residuos tóxicos fueron retenidos por la grava, en muchos casos posibilitando su degradación mediante organismos autóctonos, la desventaja fue que estos filtros percoladores a menudo resultaban lentos a la hora de destoxificar. A este trabajo le siguió el desarrollo de unos digestores anaerobios más eficaces y, posteriormente, de unos digestores aerobios.

La digestión aerobia supone algo tan sencillo como la adición de aire a la mezcla de digestión, de esta forma se estimula el crecimiento y la capacidad oxidativa de los microorganismos. Se han desarrollado muchos procedimientos diferentes para conseguir aumentar el contacto entre los microorganismos y determinados contaminantes específicos, con el fin de maximizar el rendimiento del proceso y minimizar el riesgo. En la tabla 1 se describen algunos de los procedimientos y las cuestiones de seguridad asociados a cada uno de ellos (Lagrega, et al., 1996).

Tabla 1 Comparación de métodos de tratamiento para la eliminación de residuos

| Tipo de Tratamiento | Costo por metro cúbico (\$) | Tiempo necesario (meses) | Factores adicionales/gastos | Cuestiones de seguridad |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--|
| Incineración | 325-1.040 | 6-9 | Energía | Contaminación atmosférica |
| Inertización | 0-96 | 6-9 | Transporte; control a largo plazo | Lixiviación |
| Vertedero | 195-325 | 6-9 | Control a largo plazo | Lixiviación |
| Biotratamiento | 52-130 | 18-60 | Tiempo dedicado | Metabolitos intermedios y polimeración |

Fuente: Levin et al., 1997

El compostaje es un proceso de tratamiento común en todas las comunidades agrícolas que sirve como método para convertir los residuos en enmiendas de suelo reutilizable. Básicamente, se trata de una conversión microbiana llevada a cabo bajo una serie de condiciones, que limitan los tipos de bacterias y hongos, y de esta forma, sus actividades desarrolladas. Según el autor Bhamidimarri, et al., (1990): "Un compostaje óptimo requiere un riguroso control de la humedad (50-60%) y de la temperatura. El perfil de la temperatura de una pila de *compost* generalmente permite que los microorganismos puedan atacar sucesivamente unidades diferentes del residuo peligroso, también es muy importante la aireación, y con frecuencia se presta mucha atención al método de introducción de aire.

De acuerdo con Baker, (1981) existen diversas opiniones en relación a si los microorganismos tienen límites en sus capacidades digestivas, o si bien son capaces de degradar cualquier compuesto que el hombre pueda producir. Indudablemente, la verdad se sitúa entre estos dos puntos de vista extremos, no obstante, los microbios pueden degradar multitud de compuestos bajo condiciones distintas. Muchos compuestos sintéticos pueden también modificarse o transformarse mediante el uso de una bacteria, hongo, o de algún tipo de población microbiana trabajando en asociación estos procesos varían desde la putrefacción de comida hasta la limpieza de derrames de petróleo en las playas costeras.

En muchos casos estos procesos son beneficiosos y esenciales. Después de todo, gran parte del proceso cíclico, orgánico e inorgánico, necesario para el mantenimiento del ecosistema es consecuencia de la actividad microbiana (Kelog, et al., 1981)

Además de poder modificar o degradar un compuesto, el rendimiento tiene que ser alto, se ha calculado que cada año 6,000 toneladas de azufre circulan entre los compuestos orgánicos e inorgánicos. Gran parte de los compuestos xenobióticos (sintéticos) emitidos también deben ser fácilmente digeridos por los microorganismos mediante modificaciones complejas de los caminos cíclicos naturales (Omenn, et al., 1983). Cada año en Estados Unidos se producen mucho más de 50 millones de toneladas de residuos peligrosos regulados a nivel federal (Guiot, et al., 1989).

Según Veeramani, (1987) menciona que además de la producción nueva existen muchos depósitos de almacenamiento de productos petrolíferos que tienen pérdidas, entre los contaminantes químicos se pueden mencionar: tolueno, benceno, di-tri-, y tetracloroetileno; y parationa (AATP). Las concentraciones pueden ser altas. Por ejemplo, se ha encontrado tricloroetileno (TCE) en concentraciones de 27 ppm en las aguas subterráneas.

Walia, et al., (1990), menciona que los cortos marcos temporales no permiten la evolución de sistemas microbianos capaces de tratar con facilidad y rápidamente todos los productos químicos xenobióticos. Muchos productos químicos xenobióticos son resistentes al ataque microbiano y/o son tóxicos para los microorganismos. Sin embargo, en zonas contaminadas con diversos compuestos xenobióticos se han aislado algunos microbios que pueden degradar muchos compuestos xenobióticos con diversa facilidad y velocidad. Abramowicz, (1989) demostró esto en suelos contaminados con PCB's. Propuso la combinación de material genético con 26 cepas aisladas distintas para producir una sola bacteria útil. Las moléculas que lograron biodegradar incluyen: cloruro de etileno; PCB's, gasolina y otros derivados del petróleo; compuestos como 2 y 3 grupos nitro, incluyendo herbicidas nitrogenados e hidrocarburos policlorados incluyendo: pentaclorofenol (PCE), tetracloroetileno (TCE), dicloroetileno (DCE), y cloruro de vinilo (VC).

El autor Zeph, et al., (1988) menciona que son varios organismos capaces de llevar a cabo el proceso de degradación. En algunos casos se han identificado y caracterizado, mientras que en otros ha sido extremadamente difícil cultivarlos e incluso aislarlos. Uno de los organismos más utilizado ha sido el *Pseudonoma* G4. Esta bacteria es eficaz en la degradación del TCE. El organismo puede inducirse en ambientes más generales mediante un gran número de cosubstratos. Como puede degradar varios compuesto e inducirse a partir de diversos compuestos, el G4 puede ser de gran utilidad en el tratamiento de los residuos en muchas zonas donde exista una mezcla de productos tóxicos. Las modificaciones genéticas de esta bacteria deberían conseguir aumentar su potencial.

Otros ejemplos de la utilidad de las especies de *Pseudomona Sp.* incluyen las múltiples cepas que contienen el plásmido TOL, lo que permite la degradación del tolueno. La localización en el plásmido de los genes implicados en la degradación del tolueno ha aumentado la capacidad de delimitar los mecanismos que permite un mejor tratamiento. El plásmido TOL se produce de forma natural, lo que sugiere que la capacidad de degradar los compuestos xenobióticos puede ser el resultado, en parte, de la interacción con moléculas generadas por los microorganismos autóctonos (Zeph, et al., 1988).

Entre las muchas otras cepas que han demostrado una capacidad degradadora se encuentra el *Pseudomonas (cepa LB400)*, que presenta actividad frente a los PCB's (Fallon, et al., 1991). Se ha demostrado que un aislado del *Clostridium Sp.* puede transformar el tricloroetileno, triclorometano, y tetraclorometano (King, et al., 1990). También se ha demostrado que el *Azotobacter Sp.* degrada los herbicidas dinitrofenoles. Aunque se han podido encontrar organismos únicos que son capaces de degradar compuestos sencillos o grupos de compuestos, normalmente es necesario una asociación de bacterias para llevar a cabo la degradación de un flujo de residuos mezclados. En muchos casos, las asociaciones son incluso más eficaces para los residuos uniformes (Lagrea, et al., 1996).

Un mayor desarrollo de las asociaciones naturales o creadas pueden dar lugar a mejoras en las prácticas de degradación, las prácticas selectivas sobre las poblaciones naturales fácilmente pueden desarrollar y reproducir un inóculo capaz de degradar el pesticida dinoseb.

Baehr. et al., (1981) demostró que los microorganismos indígenas requieren el aumento de algún nutriente para lograr una degradación relativamente rápida y completa de los residuos peligrosos introducidos. Los organismos en condiciones naturales generalmente presentan carencias en fósforo, nitrógeno y azufre. La adición de estos compuestos estimula el crecimiento de la población natural, y quizás aún más importante, mejora su metabolismo, facilitando el transporte por las membranas celulares y por lo tanto, el ataque metabólico. Puesto la mayoría de las degradaciones del material tóxico se producen mediante cometabolismo, a veces puede ser necesario añadir una fuente de carbono. Las tecnologías que emplean microorganismos naturales para la destrucción de compuestos orgánicos han sido, históricamente, las tecnologías de tratamiento más utilizadas por su bajo costo frente a los métodos físicos y químicos. Estas tecnologías son más o menos costosas porque las reacciones de degradación, medidas por la actividad biocatalítica natural, se producen a velocidades rápidas a temperatura ambiente. Por lo tanto, los costos energéticos del tratamiento son relativamente bajos (Omenn, et al., 1983).

Menciona Thayer, (1992) que a lo largo del último siglo, el desarrollo de tecnologías basadas en microorganismos para el tratamiento de aguas residuales urbanas ha proporcionado excelentes procesos para la destrucción de los constituyentes fácilmente biodegradables en condiciones aerobias.

Por lo tanto, en el tratamiento de muchas aguas residuales industriales y peligrosas se han aplicado con éxito procesos similares a los utilizados para el tratamiento convencional de aguas residuales urbanas. De hecho, en E.U. la industria depende en gran medida del tratamiento de sus residuos peligrosos en instalaciones públicas. Sólo en 1990 se enviaron a Estaciones Depuradoras de Agua Residuales Urbanas (EDARU) más de 60 mil toneladas de residuos químicos.

Tradicionalmente, el principal objetivo en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas ha sido la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO), de forma que el líquido tratado se pueda emitir al ambiente con un impacto mínimo en la ecología local (Sabey, et al., 1975).

La aplicación al suelo de aguas y lodos municipales puede proporcionar un método económico y ambientalmente aceptable para la disposición de estos materiales. El agua municipal residual tratada puede ser utilizada para suplementar el abastecimiento de agua natural disponible para cultivos agrícolas. Aplicación durante períodos con deficiencia de humedad pueden incrementar la productividad de la cosecha. Además, los nutrientes del agua residual, particularmente el nitrógeno y el fósforo, proporcionan suplementos al suelo y reducen las necesidades o requerimientos de fertilizantes comerciales. La aplicación de lodos a la tierra proporciona significantes y nutritivos beneficios en nitrógeno y fósforo. Aproximadamente un tercio del nitrógeno líquido digerido anaeróbicamente de los lodos está inmediatamente disponible para los cultivos, y además el balance se vuelve disponible con el tiempo. Consecuentemente, el lodo mantiene el nitrógeno para la planta en la zona de la raíz por un período mucho mayor que la mayoría de los fertilizantes comerciales. Tratamiento químico del agua residual para la remoción del fósforo incrementa la concentración de fósforo en lodos. Una sola aplicación de este lodo puede presentar los requerimientos necesarios para el cultivo de 4 o 5 años (Metcalf & Eddy, (1996).

Cuando consideramos un programa de aplicación al suelo de las aguas residuales municipales o de lodos, es importante recordar que el éxito depende de la aceptación pública. En muchas plantas de tratamiento de aguas residuales, municipales e industriales, el fango efluente de los tratamientos primarios y secundarios se lleva a un biorreactor anaerobio (frecuentemente denominado digestor o estabilizador anaerobio) para reducir la DBO residual de los fangos (Mettcalf & Eddy, 1991).

Goving, et al., (1991) constataron que las condiciones anaerobias dan lugar a la degradación biológica metanogénica (condiciones anaerobias) de la DBO, dejando a los fangos aptos para su evacuación en el vertedero. Si los compuestos orgánicos tóxicos se adsorben a los fangos, las condiciones metanogénicas del digestor puede estimular la degradación de muchos de estos compuestos tóxicos.

Los sólidos colectados en los clarificadores primarios (lodos primarios lodos activados de desecho) son bombeados al digestor para tratamiento posterior. Los lodos pueden entonces ser tratados en presencia de oxígeno (aeróbico) o en la ausencia de oxígeno (anaeróticamente). La mayoría de los tratamientos de lodos facilita el empleo de una digestión anaeróbica. En este proceso, el lodo es retenido en la ausencia de oxígeno aproximadamente por 30 días a una temperatura de 30 ° C. La descomposición de los sólidos orgánicos ocurre con la producción de gas metano. El total de la masa de lodos es reducida aproximadamente en un 40 % y hay una reducción considerable del número de organismos patógenos (Guiot, et al., 1989).

Menciona Thayer, (1992) que la masa de lodos producida depende del grado de avance en el tratamiento del agua residual. En países como Canadá se ha visto que la producción de lodo crudo, medida en sólidos secos, es aproximadamente de 80 gr. por persona por día en el tratamiento primario comparado con los 115 gr./p/día. con un tratamiento secundario y de 145 gramos/persona/día en una planta con tratamiento secundario y adición química para remoción del fósforo) (tratamiento terciario). Asumiendo que la digestión anaeróbica reduce la masa de lodos sólidos hasta en un 30 %, consideremos que una comunidad de 30,000 personas y con un tratamiento secundario de agua residual producirá 3.5 toneladas de residuo por día que debieran ser confinadas. La digestión anaeróbica del lodo puede variar de 2 a 9 % de sólidos , pero asumiendo que 4 % son sólidos, el volumen de lodos que deberán confinarse será de 90 m³ / día.

La diferencia en concentración en metales pesados entre lodos con tratamiento primario y secundario (ej. Cr). Son probablemente debidas a diferencias en la calidad del agua cruda más que al grado de tratamiento.

El autor Eckenfelder, (1989) menciona que el proceso PACT, proceso de tratamiento con carbono activado en polvo, implica la adición continua de carbono activo, en forma de polvo, al biorreactor de fangos activados con el fin de adsorber los compuestos orgánicos tóxicos, y evitar así destinos no deseados para estos compuestos. El carbono activado adsorbe orgánicos de todo tipo, es decir, volátiles, recalcitrantes, u orgánicos que se adhieren a fangos. Las concentraciones de carbono utilizado normalmente en el proceso PACT están entorno a 20-200 mg/l (Metcalf & Eddy, 1991).

ASPECTOS SOBRE LA LEGISLACIÓN DE BIOSÓLIDOS

La regulación del manejo de los lodos residuales en USA fue publicada en el registro federal en Febrero de 1993, por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) y otros participantes. Esto se encuentra bajo 40 CRF (Código de Regulaciones Federales) parte 503 y se titula estándares para el uso y disposición de los lodos residuales (EPA, 1994).

En México existen enormes restricciones acerca del uso de biosólidos, debido al bajo número de investigaciones que se realizan en este campo, y por ello se recurre al confinamiento, sin embargo esta medida resulta incosteable debido a que día a día se generan 611 toneladas de residuos municipales tan solo en el estado de Nuevo León.

Como ya se mencionó los costos del proceso de tratamiento y disposición son elevados, siendo así que, a través de los años y mediante diversas investigaciones se ha tratado de reducir dichos costos. En México, este tipo de investigaciones es relativamente nueva, ya que solo se cuenta con la NOM-ECOL-052-1993, donde se señala la clasificación de un residuo como peligroso o no peligroso; y la NOM-ECOL-053-1993, 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 (SEMARNAP, 2000). Sin embargo, aún no existe una norma en la que se indique el uso adecuado o prácticas de disposición para los biosólidos, por lo que las Plantas Tratadoras de Aguas Residuales actualmente sólo confinan sus biosólidos en rellenos sanitarios, ocasionándoles fuertes gastos (SADM, 1997).

La Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) es el organismo que establece las Normas Oficiales Mexicanas, por ejemplo la NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas.

Los contaminantes básicos son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno₅, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y potencial de hidrógeno.

Los metales pesados y cianuros son aquellos que, en concentraciones por encima de los límites máximos permisibles, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a las Normas Oficiales Mexicanas 052 y 053-ECOL el arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros se consideran peligrosos cuando sobrepasan el límite máximo permisible es el valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido. En la Tabla 3 y 4) se muestran estos límites para cada uno de estos parámetros.

Tabla 2.- Efectos sobre la salud de algunos metales pesados

| | |
|---------------|---|
| Arsénico (As) | Bronquitis; cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; hepatotoxicidad, enfermedades vasculares. |
| Berilio(Be) | Irritación de las membranas mucosas y de la piel, cáncer de pulmón |
| Cadmio (Cd) | Bronquitis, enfisema; nefrotoxicidad; infertilidad; cáncer de próstata; alteraciones neurológicas; hipertensión, enfermedades vasculares. |
| Cromo (Cr) | Nefrotoxicidad, hepatotoxicidad; cáncer de pulmón. |
| Mercurio (Hg) | Alteraciones neurológicas (disminución del coeficiente intelectual infantil); nefrotoxicidad; anemia, cáncer del riñón. |

Fuente: EPA (1999)

Contaminantes patógenos y parasitarios

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta la Norma Oficial Mexicana solo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto indicados en la tabla 5 como responsables de algunas enfermedades.

Tabla 3 Valores de los Límites Máximos Permisibles

| PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra) | LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES | | |
|--|-----------------------------|-----------------|-------------|
| | Promedio Mensual | Promedio Diario | Instantáneo |
| Grasas y Aceites | 50 | 75 | 100 |
| Sólidos Sedimentables (mililitros por litro) | 5 | 7.5 | 10 |
| Arsénico total | 0.5 | 0.75 | 1 |
| Cadmio total | 0.5 | 0.75 | 1 |
| Cianuro total | 1 | 1.5 | 2 |
| Cobre total | 10 | 15 | 20 |
| Cromo hexavalente | 0.5 | 0.75 | 1 |
| Mercurio total | 0.01 | 0.015 | 0.02 |
| Níquel total | 4 | 6 | 8 |
| Plomo total | 1 | 1.5 | 2 |
| Zinc total | 6 | 9 | 12 |

Fuente: Sieger, (1999).

Tabla 4.- Diferencia en las concentraciones de metales con respecto a los parámetros del suelo

| Elemento | Concentraciones de metales críticas para el desarrollo de la planta (mg/K) | Máxima concentración de metales en suelos agrícolas (mg/K) | Nivel de tolerancia sugerido en las plantas |
|----------|--|--|---|
| As | 20 | 32 | - |
| Cd | 8.0 | 20 | 3 |
| Cr | 75 | 1540 | - |
| Cu | 100 | 775 | 150 |
| Hg | 5 | 9 | - |
| Ni | 100 | 230 | 50 |
| Pb | 200 | 20 | - |
| Zn | 400 | 1500 | 300 |

Fuente: EPA (1999).

Optimización de mezclas de biosólidos en ensayos de germinación y evaluación del patrón de comportamiento de tres géneros de la familia LEGUMINOSAE (*Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium ebanum* y *Pithecellobium pallens*).

Tabla 5 - Bacterias, Parásitos y Virus encontrados en los biosólidos y las enfermedades que transmiten

| ORGANISMO | ENFERMEDAD |
|---|---|
| Bacteria | |
| Salmonellae (aproximadamente 1700 tipos) | Salmonellosis, Gastroenteritis |
| Salmonella typhi | Fiebre Tifoidea |
| Micobacterium tuberculosis | Tuberculosis |
| Shiguellae (4 especies) | Shigellosis, Disentería Bacilar, Gastroenteritis |
| Campilobacter jejuni | Gastroenteritis |
| <i>Escherichia coli</i> | Gastroenteritis |
| <i>Yersinia sp.</i> | Yersinosis |
| <i>Vibrio cholerae</i> | Colera |
| Protozoarios | |
| <i>Entamoeba histolytica</i> | Disentería Amoébrica, Amebiasis, |
| <i>Giardia lamblia</i> | Giardiasis, Diarrea, Pérdida de Peso |
| <i>Balantidium coli</i> | Balantidiasis, Diarrea, Disentería |
| <i>Naegleria fowleri</i> | Meningoencefalitis, Enfermedad del Sistema Nervioso |
| <i>Cryptosporidium</i> | Gastroenteritis |
| <i>Toxoplasma gondii</i> | Toxoplasmosis |
| Helmintos-Nemátodos | |
| <i>Ascaris suum</i> | Fiebre, Efectos Respiratorios |
| <i>Ascaris lumbricoides</i> | Ascariasis, Disturbios Abdominales y Nutricionales, Dolor Abdominal, Inquietud de Vómito. |
| <i>Ancylostoma duodenale</i> | Ancylostomiasis |
| <i>Necator americanus</i> | Enfermedad del gusano de ganchos |
| <i>Enterobius vermicularis</i> | Enterobiasis, Inflamación Intestinal, Necrosis Mucosa. |
| <i>Strongyloides stercoralis</i> | Strongiloidiasis, Dolor Abdominal, Diarrea. |
| <i>Toxocara canis</i> | Fiebre, Dolor Abdominal, Síntomas Neurológicos |
| <i>Trichuris trichuria</i> | Trichuriasis, Dolor Abdominal, Diarrea. |
| Helmintos-Céstodos | |
| <i>Taenia saginata</i> | Taeniasis, Nerviosismo, Insomnio, Anorexia, Dolor Abdominal, Disturbios Digestivos. |
| <i>Taenis solium</i> | Taeniasis, Nerviosismo, Insomnio, Anorexia, Dolor Abdominal, Disturbios Digestivos. |
| <i>Hymenolepis nana</i> | Taeniasis |
| Virus | |
| Adenovirus (31 tipos) | Conjuntivitis, Infecciones Respiratorias, Gastroenteritis |
| Poliovirus | Poliomelitis |
| Coxsackievirus | Meningitis Aséptica, Gastroenteritis. |
| Echovirus | Meningitis Aséptica |
| Reovirus | Infecciones Respiratorias, Gastroenteritis |
| Astrovirus | Gastroenteritis Epidémica |
| Calicivirus | Gastroenteritis Epidémica |
| Virus de la Hepatitis | Hepatitis Infecciosa |
| Rotavirus | Gastroenteritis, Diarrea Infantil |

Fuente: Joklik, et al., (1994).

La norma ecológica NOM-052-ECOL-1993, 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. Ya que los residuos peligrosos en cualquier estado físico por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, venenosas, biológico infecciosas representan un peligro para el equilibrio ecológico, por lo que es necesario definir cuales son esos residuos identificándolos y ordenándolos por giro industrial y por proceso, los generados por fuente no específica, así como los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

Por otra parte la norma NOM-053-ECO-1993, 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. De acuerdo al código de clasificación de CRETIB, se basa en lo siguiente:

1.- Un residuo se considera peligroso por su corrosividad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades: a) En estado líquido o en solución acuosa presenta un pH sobre la escala menor o igual a 2.0, o mayor o igual a 12.5. b) En estado líquido o en solución acuosa y a una temperatura de 55 °C es capaz de corroer el acero al carbón (SAE 1020), a una velocidad de 6.35 milímetros o más por año.

2.- Un residuo se considera peligroso por su reactividad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades: a) Bajo condiciones normales (25 °C y 1 atmósfera), se combina o polimeriza violentamente sin detonación. b) En condiciones normales (25 °C y 1 atmósfera) cuando se pone en contacto con agua en relación (residuo-agua) de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona violentamente formando gases, vapores o humos. c) Bajo condiciones normales cuando se ponen en contacto con soluciones de pH; ácido (HCl 1.0 N) y básico (NaOH 1.0 N), en relación (residuo-solución) de 5:1, 5:3, 5:5 reacciona violentamente formando gases, vapores o humos. d) Posee-en su constitución cianuros o sulfuros que cuando se exponen a condiciones de pH entre 2.0 y 12.5 pueden generar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades mayores a 250 mg de HCN/kg de residuo o 500 mg de H₂S/kg de residuo. e) Es capaz de producir radicales libres.

3.- Un residuo se considera peligroso por su explosividad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades: a) Tiene una constante de explosividad igual o mayor a la del dinitrobenzeno. b) Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y a 1.03 kg/cm² de presión.

4.- Un residuo se considera peligroso por su toxicidad al ambiente cuando presenta la siguiente propiedad: a) Cuando se somete a la prueba de extracción para toxicidad conforme a la norma oficial mexicana NOM-053-ECOL-1993, el lixiviado de la muestra representativa que contenga cualquiera de los constituyentes listados en las tablas 6, 7 y 8 en concentraciones mayores a los límites señalados en dichas tablas.

5.- Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades: a) En solución acuosa contiene más de 24% de alcohol en volumen. b) Es líquido y tiene un punto de inflamación inferior a 60°C. c) No es líquido pero es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos (a 25°C y a 1.03 kg/cm²). d) Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes que estimulan la combustión.

6.- Un residuo con características biológico infecciosas se considera peligroso cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades: a) Cuando el residuo contiene bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de infección. b) Cuando contiene toxinas producidas por microorganismos que causen efectos nocivos a seres vivos.

La mezcla de un residuo peligroso conforme a esta norma con un residuo no peligroso será considerada residuo peligroso. Que uno de los mayores riesgos que se derivan del manejo de residuos peligrosos, es el que resulta de mezclar dos o más que por sus características físico-químicas son incompatibles, por lo que es necesario establecer el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos.

Tabla 6.- Características del lixiviado que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente

| No. de identificación Instituto Nacional de Ecología | constituyentes inorgánicos. | concentración máxima permitida (mg/l) |
|--|-----------------------------|---------------------------------------|
| c.1.01 | arsénico | 5.0 |
| c.1.02 | bario | 100.00 |
| c.1.03 | cadmio | 1.0 |
| c.1.04 | cromo hexavalente | 5.0 |
| c.1.05 | níquel | 5.0 |
| c.1.06 | mercurio | 0.2 |
| c.1.07 | plata | 5.0 |
| c.1.08 | plomo | 5.0 |
| c.1.09 | selenio | 1.0 |

Fuente: SEMARNAP, (1999)

Tabla 7 - Concentraciones máximas permisibles de orgánicos

| No. de identificación Instituto Nacional de Ecología | Constituyentes orgánicos | concentración máxima permitida (mg/l) |
|--|---|---------------------------------------|
| c.o.01 | Acronitrilo | 5.0 |
| c.o.02 | Clordano | 0.03 |
| c.o.03 | o-cresol | 200.0 |
| c.o.04 | m-cresol | 200.0 |
| c.o.05 | p-cresol | 200.0 |
| c.o.06 | ácido 2,4-diclorofenoxiacético | 10.0 |
| c.o.07 | 2,4-dinitrotolueno | 0.13 |
| c.o.08 | Endrin | 0.02 |
| c.o.09 | heptacloro (y su epóxido) | 0.008 |
| c.o.010 | Hexacloroetano | 3.0 |
| c.o.011 | Lindano | 0.4 |
| c.o.012 | Metoxicloro | 10.0 |
| c.o.013 | Nitrobenceno | 2.0 |
| c.o.014 | Pentaclorofenol | 100.0 |
| c.o.015 | 2,3,4,6-tetraclorofenol | 1.5 |
| c.o.016 | toxafeno (canfenoclorado técnico) | 0.5 |
| c.o.017 | 2,4,5-triclorofenol | 400.0 |
| c.o.018 | 2,4,6-triclorofenol | 2.0 |
| c.o.019 | ácido 2,4,5-tricloro fenoxipropiónico (silvex)0 | 1.0 |

Fuente: SEMARNAP (1999)

Tabla 8 - concentraciones máximas permisibles de orgánicos volátiles

| No. de identificación Instituto Nacional de Ecología | constituyente orgánico volátil | concentración máxima permitida (mg/l) |
|--|--------------------------------|---------------------------------------|
| c.v.01 | Benceno | 0.5 |
| c.v.02 | eter bis (2-cloro etílico) | 0.05 |
| c.v.03 | Clorobenceno | 100.0 |
| c.v.04 | Cloroformo | 6.0 |
| c.v.05 | cloruro de metileno | 8.6 |
| c.v.06 | cloruro de vinilo | 0.2 |
| c.v.07 | 1,2-diclorobenceno | 4.3 |
| c.v.08 | 1,4-diclorobenceno | 7.5 |
| c.v.09 | 1,2-dicloroetano | 0.5 |
| c.v.010 | 1,1-dicloroetileno | 0.7 |
| c.v.011 | disulfuro de carbono | 14.4 |
| c.v.012 | fenol | 14.4 |
| c.v.013 | hexaclorobenceno | 0.13 |
| c.v.014 | hexacloro-1,3-butadieno | 0.5 |
| c.v.015 | isobutanol | 36.0 |
| c.v.016 | etilmetilcetona | 200.0 |
| c.v.017 | piridina | 5.0 |
| c.v.018 | 1,1,1,2-tetracloroetano | 10.0 |
| c.v.019 | 1,1,2,2-tetracloroetano | 1.3 |
| c.v.020 | tetracloruro de carbono | 0.5 |
| c.v.021 | tetracloroetileno | 0.7 |
| c.v.022 | tolueno | 14.4 |
| c.v.023 | 1,1,1-tricloroetano | 30.0 |
| c.v.024 | 1,1,2-tricloroetano | 1.2 |
| c.v.025 | Tricloroetileno | 0.5 |

Fuente: SEMARNAP (1999).

APLICACIÓN DE LOS BIOSOLIDOS

Los biosólidos son tratados para facilitar su disposición, los cuales tienen dos objetivos: 1) Disminuir el volumen del material que va a ser manejado, y 2) Descomponer la materia orgánica en compuestos, relativamente estables o inertes. La disposición final de los biosólidos, puede ser: en agua y en tierra, de esta última destacan: a) el confinamiento, b) el relleno y c) la aplicación como acondicionador de suelos. Este último, debido a que los biosólidos contienen numerosos elementos esenciales para la vida vegetal como son : nitrógeno, fósforo, potasio y además trazas de elementos como el boro, el calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, azufre y zinc.

El humus del biosólido, favorece al suelo, permitiéndole aumentar su capacidad de retención de agua, mejorando su calidad para el cultivo y disminuyendo además la erosión del suelo (Depto. de Sanidad. New York, 1994). Por otra parte, la aplicación de biosólidos al suelo se ha practicado en países como USA, Canadá, entre otros. Resultando así en una práctica de bajo costo, además representa la oportunidad de reciclar o utilizar un material considerado de desecho, y disponer de manera adecuada de un producto orgánico que pueda reincorporarse al suelo evitando problemas al medio ambiente y propiciando el manejo y disposición adecuado de éstos residuos (EPA, 1999).

Los PCB's en las aguas residuales son concentrados en el lodo al ser tratado en las PTAR's (Shannon, et al., 1976). La aplicación al suelo de algunos biosólidos en Ontario han causado un pequeño pero significativo incremento, en el desarrollo de especies vegetales sin embargo no hay evidencia de que sean absorbidos por los cultivos. Los PCB's son absorbidos a través del intestino en humanos y animales, en estudios sobre animales se ha demostrado que son mutagénicos, teratogénicos y carcinogénicos (Webber, et al., 1984).

Una vez aplicado al suelo, las sustancias orgánicas son materia para la fotooxidación, volatilización y biodegradación que puede alterar significativamente su estructura y características de toxicidad.

Wang, et al., (1995) determinaron 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 PCB's desaparecieron rápidamente después de las aplicaciones, mientras que cerca de el 10% de los CB totales permanecieron recalcitrantes en el suelo por largo tiempo, como lo son el Hexaclorobenceno (HCB) y el 1,4-diclorobenceno (DCB) donde se incrementó remarcadamente tanto en el suelo tratado, como en el control durante los años 60's; debido a posibles fuentes como niveles trazas de impurezas en pesticidas y/o depósitos atmosféricos.

Sabey, (1975) por su parte investigo la adición de biosólidos municipales a un suelo del tipo arenoso en cantidades de 0, 25, 50, 100 y 125 ton/ha, con la finalidad de determinar el efecto sobre el crecimiento y la composición química de las plantas; *observando en un principio una severa inhibición en la germinación del sorgo Sudangrass (cv. NB 230S) y el millet (cv. Leonard) el trigo sembrado tres meses después de la aplicación del biosólido no mostró ninguna inhibición y la producción de trigo fue más grande o igual a la parcela control, determinando que la aplicación óptima era de entre 25 y 50 ton/ha. Además no se observaron cantidades de metales fuera de lo normal en el grano del trigo, inclusive en concentraciones de 125 ton/ha. Concluyendo que poseen elementos indispensables para el buen desarrollo de las plantas y mejoran las condiciones del suelo. La evaluación sobre la aplicación de biosólidos ponen en evidencia que pueden ser utilizados bajo ciertas condiciones y que la respuesta de la especie vegetal variará en función de su resistencia o susceptibilidad así como a la naturaleza del biosólidos.*

Downy y Larson (1975) estudiaron la adición de biosólidos sobre los cultivos vegetales y demostraron que en las hojas de la lechuga incremento el valor de Zn (21 a 225 ppm), Cu (1.6 a 11.9 ppm) y Cd (0.61 a 2.67 ppm) con respecto a la zanahoria y a la papa se concluyó que las hojas de lechuga es un acumulador de metales mientras que la zanahoria y la papa no, siendo estos cultivos excelente opción de siembra en suelos agrícolas en mezcla con biosólidos.

En Atlanta, Georgia E.U.A. se realizó una investigación la cual tenia por objeto la comparación en suelos tratados con biosólidos contra suelos tratados con fertilizantes inorgánicos en el género *Fetusca arundinaceae* después de dos años se obtuvieron buenos resultados ya que ocurrió un incremento del 30% para suelos tratados con biosólidos y un excelente resultado del incremento del 150% para los suelos tratados con fertilizantes inorgánicos (Lagrega, 1996)

En E.U. muchos municipios aplican los biosólidos a granel en la región agrícola, una opción económica que requiere solamente la reducción de patógenos de los lodos de clase B (Process to Significantly Reduce Pathogens). El proceso de la estabilización y de la pasteurización de la post-cal es fácil ya que consiste en la mezcla de los biosólidos secos con cal para formar un alto pH y alta temperatura. Este proceso produce un producto final de la clase B que satisface uno de los cinco procesos para reducir perceptiblemente los patógenos enumerados en la regulación 503 (K. A. Barbarick, et al., 1997).

De acuerdo a investigaciones realizadas en 1975 por Boswell en la cual estudio la adición de lodos provenientes de plantas tratadoras de aguas residuales de Atlanta, al mismo tiempo estudio el uso del fertilizante inorgánico en el genero *Fetusca sp.* después de dos años de aplicación, la producción del forraje se incrementó, con respecto al testigo, aproximadamente un 30% por el lodo y un 150% por fertilizantes se observó también un incremento en metales pesados y fósforo, pero no para otros oligoelementos, aun así no se observo efectos tóxicos en plantas.

Estudios realizados por Kleinholtz, (1980), indican que la aplicación de biosólidos al suelo incrementa el contenido de metales pesados en las plantas en el siguiente orden: Zn>Cd>Ni>Cu>Pb=Hg=Cr.

Desde 1995 la Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires mantiene un convenio de investigación y desarrollo con la empresa Aguas Argentinas S.A., con el objeto de estudiar la factibilidad de la valorización agrícola de los biosólidos producidos por las plantas depuradoras de Buenos Aires. La valorización agrícola es uno de los medios técnicos posibles de disposición de los biosólidos de las plantas depuradoras. Desde un punto de vista agronómico, los biosólidos se comportan como otros abonos orgánicos. Es decir que constituyen un medio para reciclar nitrógeno, fósforo y otros nutrientes vegetales, y para mejorar a través de su aporte de materia orgánica las propiedades físico-químicas y la estructura de los suelos. Es así como existen considerables antecedentes acerca del impacto positivo que produce la incorporación de biosólidos al suelo sobre los rendimientos de los cultivos y las pasturas (Lavado, et al., 1995).

Con la finalidad de investigar los aspectos arriba mencionados, se condujeron y continúan en curso una serie de ensayos de campo con cultivos agrícolas (maíz, maíz para choclo y soja) y pastos naturales e implantadas en suelos de diferente calidad (agrícolas, decapitados y halo-hidromórficos), ubicados en diferentes localidades de la provincia de Buenos Aires. Teniendo como resultados, que los biosólidos causaron incrementos en los rendimientos de los cultivos, que fueron comparables con los causados por dosis equivalentes de fertilizantes minerales. La posibilidad de lograr estos incrementos depende, como es esperable, de una provisión adecuada de agua (lluvia o riego) para los cultivos. Además se observaron mejoras significativas en la productividad y la calidad de las pasturas implantadas en suelos sódicos. Desde el punto de vista ambiental, los biosólidos usados aportaron metales pesados en cantidades variables, pero siempre por debajo de los estándares internacionales. La acumulación en los suelos también fue en concentraciones muy inferiores a los niveles críticos. No se observó absorción de metales pesados, ni translocación de los mismos a tallos, hojas y granos de los cultivos. No se observaron evidencias de migración de nitratos hacia los acuíferos. (Lavado, et al., 1995).

Basta, et al., en 1999 realizaron estudios en el género *Lactuca sativa* L., las hojas de lechuga fueron usadas para evaluar la bioabibilidad de metales pesados en biosólidos y suelos tratados. Después de 180 días de incubación de los suelos tratados, la lechuga fue plantada en 500 gr. de suelo y mantenido en una cámara de crecimiento a 25 °C y 80% de humedad relativa con 16-8 horas de luz-obscuridad hasta que esta maduro (cerca de 70 días). La cosecha de lechuga fue secada a 65 °C por 24 horas y fue digerida en una concentración HNO₃ a 170 °C, después fueron digeridos los metales pesados de la lechuga y determinados por ICP. obteniendo los siguientes resultados, la relativa absorción de los metales pesados para suelo Pb>Cu>Zn>Cd, es similar para los biosólidos; Cd y Zn tuvieron baja absorción y gran fitoabibilidad comparado con Pb y Cu.

ESTUDIOS SOBRE BIOSOLIDOS EN NUEVO LEÓN

En la actualidad los lodos procedentes de plantas tratadoras de agua residuales son confinados, debido a que son considerados como desechos peligrosos por la Norma Ecológica, lo cual representa un serio problema económico y ambiental. Por otra parte se tiene conocimiento de estudios realizados en La Facultad de Ciencias Biológicas obteniendo resultados satisfactorios en las especies probadas, sobresaliendo las especies de cultivos básicos como el Sorgo y Maiz (Háuad, et al., 1999-b).

Osuna y Padilla, (1977). Aplicaron biosólidos y polímeros en tres niveles de labranza sobre el rendimiento del maíz y en algunas propiedades físicas del suelo. Se empleó diferentes tipos de labranza los cuales son, labranza convencional (barbecho + rastra), rastra y cincel. Los biosólidos se aplicaron 0.5 ton/ha y 10 ton/ha en base a peso seco y polímeros 0.5 y 100 kg/ha. El rendimiento de grano de maíz más alto se obtuvo en el tratamiento de labranza con inversión (rastra), seguido del tratamiento de labranza sin inversión (cincel), mientras que el menor rendimiento de grano se obtuvo en el tratamiento de labranza convencional (B+R). El rendimiento promedio de granos para niveles de labranza rastra, cincel y convencional, a través de los tratamientos de biosólidos y polímeros fue de 3.62, 3.16 y 2.89 ton/ha, respectivamente. Concluyendo que la interacción labranza con polímeros afectó significativamente al rendimiento, mientras para el biosólido no se observaron diferencias significativas.

Háuad, et al., (1999), caracterizaron los biosólidos y estudiaron su efecto sobre el crecimiento de tres especies de importancia agronómica: De los parámetros de crecimiento en altura los mejores tratamientos corresponden a las dosis 10,30 y 40% de biosólido para cada una de las especies. La concentración de 40% mostró tanto para los sorgos como para el maíz un amarillamiento en el ápice como si se tratase de una clorosis, probablemente debida a la alta concentración del biosólido y que tal vez posea alguna acción negativa sobre la planta, esto nos lleva a que la incorporación de biosólidos al suelo tiene una limitante, debido a la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas que en determinadas concentraciones pudiesen tener un efecto negativo en el desarrollo y/o establecimiento de las plantas. Dichos resultados están en concordancia con Dowdy y Larson, (1975) quienes estudiaron varios cultivos vegetales, donde observaron que entre todos los vegetales sembrados en diferentes concentraciones de biosólidos, la lechuga fue el que presentó una mayor acumulación de metales. Sin embargo, habría que analizar los tejidos vegetales para poder determinar nuestra observación.

SUELO

El suelo es un ente de la Naturaleza, cuyas características son el resultado de una larga evolución hasta alcanzar un equilibrio con las condiciones naturales. Y hemos de tener claro que en esas condiciones ambientales no está incluida la acción de las civilizaciones humanas. El suelo es un componente del medio natural y como tal debe ser considerado como un suelo virgen, no explotado. Es evidente que su continua y abusiva utilización por parte del hombre ha truncado su evolución y ha condicionado negativamente sus propiedades. Como resultado el suelo se deteriora, se degrada (Buckman, 1966).

Se considera como degradación del suelo a toda modificación que conduzca al deterioro del suelo. Según la FAO - UNESCO la degradación es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios.

La degradación del suelo es la consecuencia directa de la utilización del suelo por el hombre. Bien como resultado de actuaciones directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, etc.

En el suelo existen unos elementos minoritarios que se encuentran en muy bajas concentraciones y al evolucionar la vida adaptándose a estas disponibilidades, ha ocurrido que las concentraciones más altas de estos elementos se han vuelto tóxicas para los organismos. Dentro de este grupo de elementos son muy abundantes los denominados metales pesados (Webber, 1984).

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 gr/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados; es este el caso del As, B, Ba y Se.

Dentro de los metales pesados hay dos grupos: *Oligoelementos o micronutrientes*, que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.

Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Zn, Sb, Bi.

Las concentraciones anómalas que se presentan en un suelo pueden ser por causas naturales (por ejemplo, los suelos desarrollados sobre serpentinas, con altos contenidos en elementos como Cr, Ni, Cu y Mn); los metales pesados son muy estables en el suelo y en el proceso natural de transformación de las rocas para originar a los suelos suelen concentrarse, pero, en general, sin rebasar los umbrales de toxicidad y además los metales pesados presentes en las rocas se encuentran bajo formas muy poco asimilables para los organismos.

Las rocas ígneas ultrabásicas (como las peridotitas y las serpentinas) presentan los más altos contenidos en metales pesados, seguidas de las ígneas básicas (como los gabros y basaltos). Las menores concentraciones se encuentran en las rocas ígneas ácidas (como el granito) y en las sedimentarias (como las areniscas y las calizas). Los porcentajes más altos se dan para el Cr, Mn y Ni, mientras que el Co, Cu, Zn y Pb se presentan en menores cantidades, siendo mínimos los contenidos para el As, Cd y Hg (F. J. Lett, et al., 1986).

En los suelos, los más abundantes son el Mn, Cr, Zn, Ni y Pb (1-1.500 mg/kg; el Mn puede llegar a 10.000 mg/kg). En menores concentraciones se encuentran el Co, Cu y As (0,1-250 mg/kg) y con mínimos porcentajes el Cd y Hg (0,01-2 mg/kg), según Audus, (1960).

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas.

De hecho esto sucede debido a los vertidos de origen antropogénico, procedentes de vertidos industriales, de actividades mineras, de la aplicación de plaguicidas o también del tráfico rodado. Como resultado, se emiten grandes cantidades de partículas que, después de un cierto tiempo de permanencia en la atmósfera, precipitan en los suelos lejos del lugar donde han sido vertidas.

En un balance realizado a finales de la década de los años 80, se estimó que la cantidad anual de vertidos de metales en suelos ascendía a unos 5 mil billones de Kg. El 74% de esta cantidad corresponde a las cenizas procedentes de la combustión de carburantes, principalmente carbón.

Tabla 9.- Porcentajes de fuentes de producción de metales pesados

| Fuente | Contribución (%) |
|---------------------------|------------------|
| Cenizas de combustión | 74 |
| Desechos urbanos | 9 |
| Turba | 6 |
| Residuos metalurgia | 6 |
| Residuos materia orgánica | 3 |
| Fertilizantes | 2 |

Fuente: FAO-PNUMA (1999).

Como se observa en la siguiente tabla, los elementos que han experimentado mayores incrementos en su producción en los últimos años son: Al, Ni, Cr, Cd y V, si bien no todos llegan a los suelos proporcionalmente a la cantidad utilizada.

Tabla 10.- Concentraciones de metales pesados en suelo en diferentes periodos.

Cambios en la producción primaria de algunos metales (1000 Tn/año)

| Metal | Emisiones en suelos | | | | |
|-------|---------------------|---------|---------|---------|-----------|
| | 1930 | 1950 | 1980 | 1985 | 1985-1990 |
| Al | 120 | 1.500 | 15.395 | 13.690 | -- |
| Cd | 1 | 6 | 15 | 19 | 22 |
| Cr | 560 | 2.270 | 11.245 | 9.940 | 896 |
| Cu | 1.611 | 2.650 | 7.660 | 8.114 | 954 |
| Fe | 80.180 | 189.000 | 714.490 | 715.440 | -- |
| Pb | 1.696 | 1.670 | 3.096 | 3.077 | 796 |
| Mn | 3.491 | 5.800 | 26.720 | -- | 1.670 |
| Hg | 3.491 | 5.800 | 26.720 | -- | 1.670 |
| Hg | 4 | 5 | 7 | 7 | 8 |
| Ni | 22 | 144 | 759 | 778 | 325 |
| Sn | 179 | 172 | 251 | 194 | -- |
| V | -- | 1.8 | 35 | 134 | 132 |
| Zn | 1.394 | 1.970 | 5.229 | 6.024 | 1.372 |

Fuente: FAO-PNUMA (1999).

Una vez vertidos en el suelo, la concentración de los cationes metálicos en la disolución del suelo disminuye con el tiempo, puesto que pasan a ser adsorbidos en las posiciones de adsorción.

Dinámica de los metales pesados en el suelo los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas pueden pasar a la atmósfera por volatilización pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterránea. La contaminación de metales pesados en suelos tiene orígenes muy diversos como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 11.- Principales usos de metales

| Metal | Usos |
|-------|---|
| Ag | Fotografía, conductores eléctricos, soldadura, galvanización, acuñación, baterías, catalizador. |
| Al | Construcción, transporte, envasados, industrias eléctrica y farmacéutica. |
| As | Medicina, veterinaria, aleaciones, pirotécnia, esmaltes, agente depilador, insecticidas, pigmentos, pintura, productos electrónicos, tintes. |
| Cd | Galvanización, pigmentos, baterías, aleaciones de bajo punto de ebullición. |
| Co | Aleaciones, pigmentos, esmaltes, barnices, galvanización. |
| Cr | Metalurgia, materiales refractarios, galvanización, curtidos, pinturas, conservación de madera, industria química. |
| Cu | Industrias eléctrica y automovilística, construcción, fontanería, latón, algicidas, conservación de madera. |
| Fe | Industrias del hierro y acero. |
| Hg | Producción de cloruro y sosa caústica, insecticidas, industrias farmacéutica y metalúrgica, odontología, catalizador en producción de polímeros sintéticos. |
| Mn | Metalurgia, baterías, industria química, cerámica. |
| Mo | Metalurgia, pigmentos, catalizador, fabricación de vidrio, aditivo en óleos y lubricantes. |
| Ni | Metalurgia, baterías, equipos solares, galvanización, catalizador en la producción de aceite combustible. |
| Pb | Baterías, gasolina, pigmentos, munición, soldadura, pintura, industria automovilística. |
| Sb | Plásticos, cerámica, vidrios, pigmentos, productos químicos incombustibles. |
| Sb- V | Metalurgia, catalizador, pigmentos. |
| Zn | Aleaciones, bronce y latón, galvanización, baterías, pintura, productos agrícolas, cosméticos y medicinales. |

Fuente: FAO-UNESCO-PNUMA (1999).

Factores del suelo que afectan su acumulación y disponibilidad. La toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino que las características del suelo donde se encuentre van a ser decisivas. La sensibilidad de los suelos a la agresión de los agentes contaminantes va a ser muy distinto dependiendo de una serie de características edáficas.

Potencial de Hidrógeno. Es un factor esencial. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino. El pH, es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos (Universidad de Washington, 1997).

Por otra parte, algunos metales pueden estar en la disolución del suelo como aniones solubles. Tal es el caso de los siguientes metales: Se, V, As, Cr. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo.

Textura. La arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Bukman et al., 1966).

Mineralogía de las arcillas. Cada especie mineral tiene unos determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica. Ambas características son las responsables del poder de adsorción de estos minerales. La capacidad de cambio de cationes es mínima para los minerales del grupo de la caolinita, baja para las micas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas.

Materia Orgánica. Reacciona con los metales formando complejos de cambio y quelatos. Los metales una vez que forman quelatos o complejos pueden migrar con mayor facilidad a lo largo del perfil.

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas. Por eso algunas plantas, de suelos orgánicos, presentan carencia de ciertos elementos como el Cu. El Pb y el Zn forman quelatos solubles muy estables (F. B. Salisbury, et al., 1994).

La complejación por la materia orgánica del suelo es una de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación por los organismos del suelo es una causa muy importante de la persistencia de la toxicidad. Pero también la presencia de abundantes quelatos puede reducir la concentración de otros iones tóxicos en la solución del suelo.

La estabilidad de los complejos tiende a seguir la siguiente secuencia: $\text{Cu} > \text{Fe} > \text{Mn} = \text{Co} > \text{Zn}$

Capacidad de cambio. Es función del contenido de arcilla y materia orgánica, fundamentalmente. En general cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos.

Condiciones redox. El potencial de oxidación-reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido. Los diagramas Eh-pH se utilizan para mostrar la estabilidad de compuestos de metales pesados y proporciona un método fácil para predecir el comportamiento de los metales pesados frente a un de cambio en las condiciones ambientales. i) Cambio directo en la valencia de ciertos metales; por ejemplo, en condiciones reductoras el Fe^{3+} se transforma en Fe^{2+} , los iones reducidos son mucho más solubles.

ii) En segundo lugar, las condiciones redox pueden afectar indirectamente la movilidad de metales. Así muchos metales están asociados o adsorbidos a hidróxidos de Fe y Mn, estos no son estables a Eh bajos y se convierten en FeS o FeCO_3 dependiendo de las condiciones químicas, cuando esto ocurre los metales que estaban asociados con los hidróxidos de Fe y Mn se movilizan.

En ambientes muy reductores el Fe se puede combinar con el S^{2-} hasta convertirse en pirita. Cuando los suelos y sedimentos contienen cantidades significantes de pirita y aumenta el Eh (creación de condiciones más oxidantes) el S^{2-} se oxida a SO_4 liberando cantidades de H_2SO_4 , el suelo se acidifica fuertemente y los metales se hacen muy solubles.

La fase estable dominante es $PbCO_3$, que se hace más inestable si las condiciones ambientales son más ácidas. El $PbCO_3$ tiene un elevado producto de solubilidad y cuando este mineral se encuentra en aguas superficiales, se observan altas concentraciones de Pb. Por otra parte, cuando el azufre es abundante se forman los compuestos indicados en el diagrama de la derecha. Bajo condiciones reductoras (bajo Eh) el PbS es la fase estable. El sulfuro de plomo se forma en estuarios y medios marinos donde los sulfatos se reducen a sulfuros que reaccionan con plomo para formar sulfuro de plomo (insoluble). Por tanto condiciones ambientales que provoquen un aumento del potencial redox, podrían originar la inestabilidad del sulfuro de plomo, con una subida de la concentración de plomo disuelto.

En la siguiente tabla se muestra el desarrollo sobre la movilidad de los metales pesados y elementos asociados en función de las condiciones de pH y Eh.

Tabla 12.- Movilidad de metales pesados con respecto al pH

| Movilidad relativa de los metales pesados según el pH y Eh del suelo | | | | |
|--|-----------------------------|-------------------------|---|-------------------------------------|
| Movilidad | Oxidante | Acido | Neutro y alcalino | Reductor |
| Alta | Zn | Zn, Cu, Co, Ni, Hg y Au | | |
| Media | Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au y Cd | Cd | Cd | |
| Baja | Pb | Pb | Pb | |
| Muy baja | Fe, Mn, Al, Sn, Pt, Cr y Zr | Al, Sn, Pt y Cr | Al, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag y Au | Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd y Pb |

Fuente: FAO-PNUMA (1999).

Oxidos e hidróxidos de Fe y Mn. Juegan un importante papel en la retención de los metales pesados. Tienen una alta capacidad de fijar a los metales pesados e inmovilizarlos. Además, estos compuestos se presentan finamente diseminados en la masa del suelo por lo que son muy activos. Los suelos con altos contenidos de Fe y Mn tienen una gran capacidad de adsorber metales bivalentes, especialmente Cu, Pb y en menor extensión Zn, Co, Cr, Mo y Ni.

Carbonatos. La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de altos valores de pH, en los que como ya hemos visto tienden a precipitar los metales pesados. El Cd, y otros metales, presenta una marcada tendencia a quedar adsorbido por los carbonatos. Salinidad. El aumento en salinidad puede incrementar la movilización de metales pesados por dos mecanismos. Primeramente los cationes asociados con las sales (Na, K) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como Cd, Zn y Hg.

En definitiva, según la forma en la que se encuentre el metal retenido en el suelo, así será la disponibilidad relativa por las plantas y por tanto la incorporación en los organismos.

Forma de retención en el suelo, disponibilidad relativa, iones en solución del suelo, fácilmente disponible, ión en complejo de cambio, relativamente disponibles pues estos metales, por su pequeño tamaño y altas cargas, quedan fuertemente adsorbidos.

Al ir transcurriendo el tiempo disminuye la disponibilidad de los metales, ya que se van fijando en las posiciones de adsorción más fuertes y también los geles van envejeciendo y se van volviendo más cristalinos.

En general se considera que la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes subsuperficiales en muy pequeñas cantidades. Es por ello que la presencia de altas concentraciones en el horizonte superficial seguida de un drástico decrecimiento a los pocos centímetros de profundidad es un buen criterio de diagnóstico de contaminación antrópica.

Las cantidades totales presentes en un suelo constituye un medida poco representativa de la posible toxicidad de un metal pesado. Resulta fundamental conocer la forma química bajo la que se presenta, es decir la especiación, pues la toxicidad de un elemento es muy distinta dependiendo de su presentación, que va a regular no sólo su disponibilidad (según se encuentre disuelto, adsorbido, ligado o precipitado) sino que también el grado de toxicidad que presente va a depender de la forma química en sí misma.

No obstante, por su facilidad de medida y reproductibilidad, en los estudios de contaminación se utilizan, muy frecuentemente, como ya se ha indicado anteriormente, los valores totales para definir los umbrales de contaminación.

El tipo de sustancia contaminante y la forma bajo la que se presente (soluble, cambiante, ligada, adsorbida, ocluida) va a influir decisivamente en el efecto contaminante producido.

Mercurio. Una posibilidad que da lugar a la movilización del Hg es a través de su metilación, que corresponde a la formación de un compuesto organometálico. En el caso concreto del mercurio, se forma el metil-mercurio, CH_3Hg^+ , el cual, al igual que otros compuestos organometálicos, es liposoluble. En consecuencia, estos compuestos presentan una elevada toxicidad, puesto que pueden atravesar fácilmente las membranas biológicas y, en particular, la piel, y a partir de aquí, la incorporación del metal en la cadena trófica está asegurada. Aparte del Hg, otros metales susceptibles a la metilación son Pb, As y Cr (Martin, 1960).

La metilación de metales inorgánicos por bacterias es un fenómeno geoquímico relativamente importante que pueden presentar elementos traza como Hg, As y Sn. Especialmente importante es la metilación de Hg resultando CH_3Hg^+ , un compuesto mucho más tóxico que el mercurio.

El mercurio es un elemento ampliamente utilizado para extraer oro de sedimentos y suelos en Brasil, Venezuela, Filipinas e Indonesia. El mercurio se añade a los sedimentos que contienen partículas de oro finamente divididas, tratándose grandes volúmenes de tierra. El oro forma un amalgama que puede ser separada fácilmente (por sedimentación) de la tierra tratada. La amalgama separada, es quemada para volatilizar el mercurio, como resultado, el mercurio entra en la atmósfera. El vapor de mercurio elemental liberado en la atmósfera, durante la tostación de la amalgama Au/Hg y vaporizado durante los distintos procesos de extracción de oro, es oxidado a Hg^{++} mediante ozono, energía solar y vapor de agua. Una vez formado, el mercurio iónico Hg^{++} es arrastrado de la atmósfera por las lluvias y depositado sobre ambientes terrestres y acuáticos donde es convertido en metil mercurio en el suelo. El metil mercurio puede ser fácilmente transportado del suelo al medio acuático. También se pierde mercurio durante todo el proceso y dicho mercurio termina en los ríos, en donde es fácilmente tomado por el pescado y es al menos 100 veces más tóxico que el Hg metálico (FAO-PNUMA, 1999).

En la bahía de Minamata, en el sur del Japón, se produjo una enfermedad denominada "Enfermedad de Minamata", debida al consumo de pescado y mariscos contaminados con metil mercurio, debido al paso de Hg^{++} a metilmercurio por acción bacteriana. La producción de metil-Hg por bacterias y su liberación en el medio acuático es un mecanismo de defensa que protege los microbios del envenenamiento de Hg. La metilación bacteriana movilizó el Hg almacenado en los sedimentos de la bahía. Este mercurio procedía de una fábrica de plásticos que utilizaba Hg como catalizador y vertía los residuos en la Bahía (EPA, 1999).

Cadmio. "Enfermedad de itai-itai", el cambio del laboreo del suelo provocó el efecto nocivo aunque las cantidades de Cd se mantuvieron constantes. Este ejemplo es muy ilustrativo de la importancia de la especie frente a la cantidad total del contaminante.

Manganeso. ha puesto de manifiesto la importancia en la especiación de las formas de este elemento en los suelos próximos a una factoría de Carburos Metálicos en Galicia. Las propiedades fisico-químicas de los suelos han modificado las características de los aportes de Mn, que en un principio eran inertes y en tan sólo 15 años han pasado a formas bioasimilables y por tanto perniciosas.

Nitrógeno. Es un nutriente esencial para el crecimiento de los vegetales, ya que es un constituyente de todas las proteínas. Es absorbido por las raíces generalmente bajo las formas de NO_3^- y NH_4^+ . Su asimilación se diferencia en el hecho de que el ión nitrato se encuentra disuelto en la solución del suelo, mientras que gran parte del ión amonio está adsorbido sobre las superficies de las arcillas. El contenido de nitrógeno en los suelos varía en un amplio espectro, pero valores normales para la capa arable son del 0,2 al 0,7%. Estos porcentajes tienden a disminuir acusadamente con la profundidad. El nitrógeno tiende a incrementarse al disminuir la temperatura de los suelos y al aumentar las precipitaciones atmosféricas.

Como resultado en el suelo podemos encontrar nitrógeno orgánico (proteínico, ácidos nucleicos, azúcares) e inorgánico (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-). Siendo, generalmente, el orgánico el más abundante (85 al 95% son valores normales).

El nitrógeno asimilable procede de diversas fuentes y está sometido a pérdidas por diversos mecanismos, básicamente el ciclo del nitrógeno se compone de cuatro tipos de procesos: fijación del nitrógeno molecular, puede realizarse bajo diferentes vías.

Fijación biológica simbiótica. El nitrógeno atmosférico es fijado por ciertos microorganismos en el suelo que actúan de manera simbiótica con las plantas (como plantas hospedadoras actúan, preferentemente, las leguminosas). El mecanismo es complejo, básicamente se admite que el N_2 es transformado a NO_3^- por la actividad de bacterias del género *rhizobium* y es incorporado a estos organismos bajo la forma de aminoácidos. En ausencia de fertilizantes, éste es el proceso esencial para el crecimiento de las plantas.

Fijación biológica asimbiótica. Ciertos microorganismos pueden fijar nitrógeno sin recurrir a comportamientos simbióticos. Se trata de microorganismos heterótrofos frente al carbono y lo tienen que tomar de los azúcares, almidón, celulosas. Son las bacterias heterótrofas, bacterias fotosintéticas y algas azules-verdes (Alexander, et al., 1961).

Fijación no biológica. El nitrógeno puede ser arrastrado directamente al suelo por las aguas de lluvia. Representa una vía muy poco importante frente a la fijación biológica.

Nitrificación. Es el proceso correspondiente a la oxidación del ión amonio a nitrato. Se desarrolla en dos etapas. En un primer paso, el ión amonio es oxidado a nitrito (reacción catalizada por bacterias nitrosomas) y en la segunda fase el nitrito pasa a nitrato (por la acción de la bacteria *nitrobacter*).

Reducción del ión nitrato. En ausencia de oxígeno (suelos saturados en agua) el nitrato evoluciona a amonio, interviniendo en el proceso reductor las bacterias nitrato-reductasa, siendo el nitrato el que actúa de aceptor de electrones en la oxidación de la materia orgánica.

Desnitrificación. Es otro proceso de reducción del ión nitrato, pero esta vez a nitrógeno molecular. En suelos completamente saturados en agua se produce un empobrecimiento en oxígeno y algunos organismos anaeróbicos tienen capacidad de obtener el oxígeno de los nitratos y nitritos con liberación simultánea de nitrógeno y de óxido nitroso.

Inversamente el nitrógeno mineral puede ser utilizado por los microorganismos del suelo y ser transformado en nitrógeno orgánico. Esta transformación se llama inmovilización biológica.

Tipos de fertilizantes nitrogenados el nitrógeno añadido como abono, puede estar como urea, NH_4^+ y NO_3^- . Este nitrógeno sigue los mismos modelos de reacción que el nitrógeno liberado por los procesos bioquímicos a partir de residuos de plantas. Así la urea es sometida a la amonificación (formación de NH_4^+) y nitrificación previas para su utilización por los microorganismos y plantas. El amonio puede ser oxidado a NO_3^- y ser fijado por las partículas sólidas del suelo o utilizado sin cambio por los microorganismos y las plantas. Los nitratos pueden ser absorbidos directamente por microorganismos y plantas o pueden perderse por volatilización y lavado (Buckman et al., 1966).

Efectos secundarios del abonado nitrogenado las aportación de nutrientes, aparte del nitrógeno, como S, Mg, Ca, Na y B, variación de la reacción el suelo (acidificación o alcalinización), incremento de la actividad biológica del suelo con importantes efectos indirectos sobre la dinámica global de los nutrientes. daños por salinidad y contaminación de acuíferos, causados por una dosificación muy alta, daños causados por las impurezas y productos de descomposición, efecto secundario, herbicida y fungicida, de la cianamida cálcica.

Las sales de nitrato son muy solubles, por lo que la posibilidad de que se produzca la lixiviación del anión es elevada y más teniendo en cuenta el bajo poder de adsorción que presentan la mayoría de los suelos para las partículas cargadas negativamente.

El problema ambiental más importante relativo al ciclo del N, es la acumulación de nitratos en el subsuelo que, por lixiviación, pueden incorporarse a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales. En estos medios los nitratos también actúan de fertilizantes de la vegetación acuática, de tal manera que, si se concentran, puede originarse la eutrofización del medio. En un medio eutrofizado, se produce la proliferación de especies como algas y otras plantas verdes que cubren la superficie. Esto trae como consecuencia un elevado consumo de oxígeno y su reducción en el medio acuático, así mismo dificulta la incidencia de la radiación solar por debajo de la superficie. Estos dos fenómenos producen una disminución de la capacidad autodepuradora del medio y una merma en la capacidad fotosintética de los organismos acuáticos.

La lixiviación de nitratos hacia el subsuelo puede contaminar los acuíferos subterráneos, creando graves problemas de salud si se consume agua rica en nitratos, debido a su transformación en nitritos por participación de unas bacterias existentes en el estómago y vejiga urinaria. A su vez los nitritos se transforman en ciertos compuestos cancerígenos (Nitrosaminas), que afectan al estómago e hígado.

La cantidad de nitratos que se lixivia hacia el subsuelo depende del régimen de pluviosidad y del tipo del suelo. La mayoría de los suelos poseen abundantes partículas coloidales, tanto orgánicas como inorgánicas, cargadas negativamente, con lo que repelerán a los aniones, y como consecuencia, estos suelos lixiviarán con facilidad a los nitratos. Por el contrario, muchos suelos tropicales adquieren carga positiva y por tanto, manifiestan una fuerte retención para los nitratos.

La textura de los suelo es un factor importante en relación con la lixiviación. Cuanto más fina sea la textura más capacidad de retención presentarán (Buckman, et al., 1966).

Por otra parte, para una misma dosis de fertilizante nitrogenado, por ejemplo 200 Kg/ha, la lixiviación es mayor cuando el suelo presenta un drenaje más alto. Así mismo, podemos evaluar el exceso de N que se puede producir en función de la cantidad de N fertilizante aplicado y del drenaje del suelo.

Fósforo. Es después del nitrógeno, el segundo elemento en importancia para el crecimiento de las plantas. La falta de este elemento en el suelo, puede impedir que otros sean absorbidos por las plantas (por ejemplo, las leguminosas necesitan determinada cantidad de fósforo para poder fijar nitrógeno).

Formas de fósforo. Desde el punto de vista químico el fósforo puede encontrarse como: Fósforo inorgánico, fósforo orgánico, fósforo adsorbido y fósforo asimilable.

La disponibilidad está determinada por los siguientes factores: pH del suelo, Fe, Al, y Mn solubles, presencia de minerales que contienen Fe, Al y Mn, minerales de calcio y magnesio disponibles, cantidad y descomposición de materia orgánica.

Todos estos factores están influenciados por el pH de suelo. La máxima disponibilidad del P ocurre para pH entre 6 y 7. A pH bajos, suelos ácidos, existe en solución Fe, Al y Mn que reaccionan con el ácido fosfórico dando fosfatos hidróxidos insolubles. También existe la fijación por los óxidos hidróxidos formando fosfatos hidróxidos insolubles. La fijación por silicatos-arcillas, se realiza en condiciones de moderada acidez. En suelos alcalinos, los fosfatos precipitan con el Ca de cambio y con el de CaCO_3 .

La dependencia del comportamiento del fósforo con el pH se resume a continuación:

a pH = 3-4. Mínima solubilidad.

a pH > 4 el fósforo disminuye la capacidad fijadora.

a pH = 5,5 mucho del fósforo está químicamente combinado con Fe y Al.

a pH = 6 comienza la precipitación como fosfato cálcico

a pH = 6,5 se forman sales de Ca insolubles por lo que el fósforo no es disponible.

a pH > 7 puede formarse incluso apatito como ejemplo de compuestos muy insolubles.

Generalmente los fosfatos forman compuestos insolubles con iones Fe^{3+} y Al^{3+} en medio ácido y con Ca^{++} en medios alcalinos. Tan solo existe un rango de pH (alrededor de 6,5) en el que el fosfato se mantiene soluble, que es la situación en la que se puede presentar cierto riesgo de lixiviación.

Efectos secundarios de abonos fosfatados. La aportación de nutrientes, además del fósforo, como el azufre, calcio, magnesio, manganeso y otros; así como sustancias inútiles, desde el punto de vista de la fertilidad, sodio y sílice, aportación de sustancias que mejoran la estructura: cal y yeso, variación del pH del suelo, inmovilización de metales pesados, impacto ambiental de los abonos fosfatados. El problema ambiental de los fosfatos es, como el del N, la eutrofización de las aguas (Jensen, 1963).

Potasio. Este elemento alcanza en la litosfera una concentración media de 1,58%. La mayor parte de sus sales son muy solubles. Es un elemento muy adsorbido por los minerales arcillosos 2:1 (fundamentalmente las micas). Formas de potasio, atendiendo a la disponibilidad del K en el suelo, puede ser clasificado en dos grupos: Potasio cambiante o asimilable. Este K puede ser absorbido por las raíces de las plantas. Se presenta bajo dos formas (Martin, et al., 1958).

* K rápidamente disponible en la solución del suelo.

* K lentamente disponible. Adsorbido a la superficie del complejo arcillo húmico.

Potasio no cambiante. Fijado en el interior de las arcillas (ilitas) en forma no cambiante o que se libera muy lentamente a medida que el suelo se empobrece en potasio de cambio. También el contenido en los minerales de la roca madre, que se liberará a través de los procesos de meteorización.

Como todas las formas cambiantes, el K cambiante se encuentra en equilibrio con el K adsorbido y con el de la solución del suelo. K no cambiante \rightleftharpoons K cambiante \rightleftharpoons K en solución. El potasio asimilable está sometido a una serie de mecanismos que regulan su presencia en los suelos.

Efectos secundarios de abonos potásicos. Las impurezas en forma de aniones, impureza en forma de cationes, efecto salinizante, producido por las impurezas de los abonos potásicos, fundamentalmente los cloruros. A continuación se resumen los mecanismos de pérdida de los macronutrientes en el suelo.

Macronutrientes secundarios, son aquellos elementos nutritivos que las plantas necesitan absorber en gran cantidad y que normalmente abundan en todos los suelos. A este grupo pertenece el Ca, Mg y S (Newman, et al., 1958).

Efecto de exceso de azufre, calcio y magnesio en el medio ambiente. El efecto del (Mg) es secundario de los abonos magnésicos, son de poca importancia. Se debe especialmente evitar que se apliquen grandes cantidades de $MgCl_2$ a las plantas sensibles al cloro.

El calcio se utiliza para enmiendas, para mejorar la estructura del suelo, más que como fertilizante y para elevar el pH.

El azufre tiene varios efectos: efecto tóxico del SO_2 sobre las plantas, efecto acidificante del SO_2 en la lluvia ácida. Con lo que se acidifica el suelo, debido fundamentalmente a la liberación de Al^{+++} (soluble hasta $pH < 4,5$) que es un elemento altamente tóxico para las plantas, efectos sobre los suelos que son normalmente deficientes en S.

En algunas regiones una alternativa o fuente adicional de la acidez proviene de las minas de carbón y otros minerales que puedan dejar al descubierto cantidades significantes de piritita, que expuesta al aire se oxida y una consecuencia es la liberación de H_2SO_4 en las vías fluviales.

Los oligoelementos, se refiere a un elemento que es requerido en pequeñas cantidades por las plantas o animales pero que su disponibilidad es completamente necesaria para que los organismos completen su ciclo vital.

Ciclo de los oligoelementos, las fases solubles de los oligoelementos se pueden encontrar en forma iónica o bien quelatada, siendo fácilmente absorbibles por las plantas. Los oligoelementos de la solución del suelo, en parte se pueden inmovilizar por complejación con sustancias húmicas insolubles o a través de la fijación sobre las superficies de los minerales de la arcilla o de los óxidos. Por otra parte los residuos de las plantas, por descomposición, liberan oligoelementos y moléculas orgánicas quelatantes, moléculas que pueden mantenerlos en solución, así como favorecer la solubilización de las formas insolubles. Por último una fracción es exportada del ciclo mediante las cosechas.

Fuentes de oligoelementos en el suelo presentes en los suelos proceden fundamentalmente de: Del material original (rocas y minerales) que ha dado lugar al suelo, impurezas en fertilizantes, productos de encalado, plaguicidas y aguas residuales, residuos industriales, productos de combustión de materiales fósiles, materiales volcánicos y en fin, aportaciones por las precipitaciones (Buckman, et al., 1966).

Formas de oligoelementos en el suelo los podemos encontrar como: Soluble en agua, Cation de cambio, forma complejada por la materia orgánica, incluyendo residuos de plantas y organismos vivos, biomasa, forma ocluida en óxidos de Fe y Mn y Como minerales primarios y formando parte de arcillas por sustituciones isomórficas del Fe y Al de las capas octaédricas.

Necesidades de oligoelementos en las plantas, una característica común a todos los oligoelementos es el hecho de que a partir de una determinada concentración, una vez superado el rango óptimo, toda cantidad adicional se vuelve tóxica para las plantas incluso llegando a un rango en el que la concentración es letal.

La disponibilidad va a estar regulada por el pH, que va a modificar su comportamiento en el suelo según su : solubilidad, adsorción e inmovilidad.

Contaminación por fertilizantes, abonos orgánicos, constituyen un grupo muy diverso de materiales procedentes de residuos de animales y vegetales más o menos transformados y que presentan unos altos contenidos en materia orgánica.

Tipos de abonos orgánicos, principalmente: estiércol sólido, purín, estiércol semilíquido, paja, compost y abono verde (Buckman, et al., 1966).

Estiércol sólido, se compone fundamentalmente de excrementos de animales domésticos y una pequeña cantidad de orina y paja. Contiene N orgánico y amoniacal, fósforo, potasio y micronutrientes como Cu, Zn, Fe y Mn.

Estiércol líquido, purines, está constituido por orina fermentada de los animales domésticos, mezclada con partículas de excrementos, jugos que fluyen del estiércol y agua de lluvia. Por su importante contenido en sales potásicas el purín es considerado como un abono N-K. Es un abono de efecto rápido, ya que los nutrientes que contiene se encuentran en su mayor parte en forma fácilmente disponible. La aplicación en dosis elevadas de residuos líquidos puede conducir a la salinización del suelo.

Estiércol semi-líquido, se trata de una mezcla de excrementos y orina, a la que se le añade agua para facilitar su transporte y distribución.

Paja, la paja es pobre en nutrientes, pero suministra materia orgánica degradable, por ejemplo celulosa, lo que constituye una fuente energética. Dado que la descomposición de la paja es lenta, esta debe enterrarse con gran antelación a la siembra.

Compost, es un producto de descomposición de residuos vegetales y animales, con diversos aditivos. Este grupo es el más amplio de los abonos orgánicos; comprende desde materiales sin ninguna calidad, procedente de los basureros, hasta substratos perfectamente preparados con alto poder fertilizante.

Abono verde, se utilizan plantas enteras, o solamente residuos, como las raíces. El efecto del abonado verde consiste en la aportación de nitrógeno, de materia orgánica, así como la mejora de la estructura del suelo, y por último contribuye con gran cantidad de nutrientes asimilables, facilitando la movilidad de fosfatos y oligoelementos.

Se utilizan fundamentalmente leguminosas, dada su propiedad fijadora de nitrógeno y otras plantas verdes como cereales.

REQUERIMIENTOS DE LAS PLANTAS

El crecimiento, desarrollo vegetal y el rendimiento, se determinan en gran medida por la disponibilidad de los nutrientes. Las plantas contienen pequeñas cantidades de 90 o más elementos de los cuales solo 16 se consideran esenciales, ya que forman parte de las moléculas básicas para la fisiología y metabolismo vegetal, y las plantas no pueden completar su ciclo de vida si falta algunos de ellos (Gerhard, 1984).

De acuerdo a estudios realizados por Brown, et al., (1987), los nutrientes esenciales para las plantas y sus principales formas químicas en que se absorben por las plantas son: Oxígeno (O_2, H_2O y CO_2), Hierro (Fe^{2+}, Fe^{3+}), Calcio (Ca^{2+}), Carbono (CO_2), Hidrógeno (H_2O), Potasio (K^+), Nitrógeno ($NO_3^-, NH_4^+, CO(NH_2)_2$), Manganeseo (Mn^{2+}, Mn^{4+}), Fósforo ($H_2PO_4^-, HPO_4^{2-}$), Magnesio (Mg^{2+}), Boro ($BO_3^-, B_4O_7^{2-}$), Azufre (SO_4^{2-}, SO_3^{2-}), Cobre (Cu^{2+}, Cu^+), Zinc (Zn^{2+}), Molibdeno (MoO_4^{2-}) y Cloro (Cl^-).

El conocimiento de los nutrientes es una buena base para la planeación de un programa adecuado de manejo nutricional de los cultivos. Por ejemplo el carbono siempre existe en cantidades suficientes puesto que las plantas son capaces de asimilar el bióxido de carbono de la atmósfera a través de las hojas. Las hojas de los vegetales utilizan solo el carbono del CO_2 , y liberan el oxígeno que se reintegra al aire. El oxígeno que utilizan las plantas para respirar y para su metabolismo, penetra a través de las raíces y hojas, y proviene del agua del suelo y del aire. El hidrógeno es obtenido por las plantas directamente del agua del suelo y del aire. El carbono, oxígeno e hidrógeno se convierten, en la fotosíntesis, a carbohidratos simples y luego se transforman en aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, lípidos y muchas moléculas orgánicas pequeñas. Pocos productores manejan el bióxido de carbono como suplemento a sus plantas.

De acuerdo a estudios realizados por Donal y Prescott, (1975) mencionan que las plantas rara vez tienen deficiencias de cobre (Cu), en parte por que lo requiere en cantidades muy pequeñas y alcanza el nivel de suficiencia entre 5 y 7 ppm del peso seco; la movilidad de este elemento es baja en suelo y en tejidos vegetales y participa como sustituyente de la proteína plastocianina del cloroplasto y sirve como parte del sistema de transporte de electrones ligando los fotosistemas I y II. Participa en la síntesis de lignina, y es cofactor en la síntesis de ácidos nucleicos, en ausencia de este elemento las hojas con frecuencia adquieren un color verde oscuro y están arrugadas o deformes, y muchas veces exhiben manchones necróticos.

Menciona G. Richter, (1984) que el contenido de hierro (Fe); en el follaje varía de 10 a 1000 ppm del peso seco, con rango de suficiencia entre 35 ppm y 75 ppm, para los investigadores Brown, et al., (1987) citan que las plantas requieren 100 ppm. este elemento; presenta baja movilidad tanto en suelo como en planta y es componente importante en varios sistemas enzimáticos y de la proteína ferredoxina y se requiere para la reducción de sulfatos y nitratos, así como para la síntesis de clorofila y de proteínas en las regiones meristemáticas. Las plantas deficientes presentan clorosis intervenal en hojas jóvenes y cuando la deficiencia es severa puede presentarse coloraciones blanquecinas y mostrar síntomas en toda la planta. Existen más de 15 diferentes causas reportadas que pueden inducir la deficiencia de este elemento.

Después del nitrógeno el fósforo es el elemento que con mayor frecuencia resulta limitante en los suelos (F. B. Salisbury, 1994), el fósforo ocupa entre el 0.5 y 1.0% del peso seco de muchos cultivos, presentan alta movilidad entre tejidos vegetales, pero es muy poco móvil en el suelo. es un componente de proteínas y nucleoproteínas; participa en procesos de transferencia metabólica y transporte de energía , ATP. El fósforo estimula la formación y crecimiento de raíces. El fósforo requiere de mayor importancia durante el crecimiento inicial y rápido, y al final de la tuberización. Las plantas deficientes son pequeñas con hojas, tallos y ramas de color púrpura; pobre crecimiento de raíces, estolones y rendimiento reducido. Este elemento también es reducido por remoción por plantas, fijación y formación de compuestos insolubles .

El magnesio (Mg) se encuentra en 0.04 y 1.0% del peso seco de las hojas, presenta alta movilidad en las plantas, y su movilidad en el suelo es media; forma parte de la molécula de clorofila y sirve como cofactor de la mayoría de las enzimas que activan los procesos de fosforilación. Participa en la síntesis de ARN y proteínas. Es necesario en la formación de azúcares, ayuda a regular la asimilación de potasio y calcio. Actúa como transporte de fósforo en la planta y promueve la formación de aceites y grasas, y está en la clorofila.

La mayoría de las plantas requieren menos molibdeno que cualquier otro elemento su concentración esta presente por debajo de 15 ppm del peso seco de las plantas; es componente de la nitrogenasa y nitrato reductasa, que son sistemas enzimáticos importantes y participa en la síntesis de proteínas; presenta una movilidad media en el suelo y en tejidos vegetales.

El nitrógeno ocupa el 1.5 y 6% del peso seco de los cultivos y sus principales funciones en la planta son la síntesis de aminoácidos, proteínas y clorofila; es un constituyente de enzimas, cromosomas, hormonas y vitaminas. Las deficiencias de este elemento se presentara con achaparramientos, presencia de clorosis con hojas verde pálido y las hojas inferiores amarillas y secas.

El nitrógeno se pierde del suelo por remoción por plantas (cultivadas y malesas), lavado, desnitrificación y erosión. Además, puede ser inmovilizado temporalmente. El exceso de este produce bajo rendimiento debido a un pobre desarrollo de raíces, y las hojas se pueden enrollar hacia arriba y formar "orejas de ratón"; las variedades de ciclo largo son más susceptibles a este problema, y sufren reducciones drásticas en el llenado de tubérculos y aumenta el riesgo de ataque de insectos y patógenos. Una característica distintiva de las leguminosas, es su capacidad para utilizar el nitrógeno atmosférico y ponerlo a disposición de la planta huésped. Uno de los efectos consecuentes es la producción de semillas de alto contenido proteínico, este proceso es mediado por una asociación simbiótica de las bacterias con las raíces de la planta. La bacteria *Rhizobia ssp.*, que por lo general vive libremente en el suelo, penetra en las raíces de las leguminosas a partir del estado de plántula. Posteriormente, las células huéspedes se dividen rápidamente y aparecen nódulos característicos en la superficie de las raíces. Al mismo tiempo la bacteria crece, dando lugar a bacteroides y a un pigmento rojo característico, la leghemoglobina; sólo después de estos hechos se hace posible la fijación del nitrógeno. Estas bacterias, cuando viven libremente en el suelo, no fijan nitrógeno. Existe una serie de cepas de *Rhizobia ssp.*, cada una con una amplia gama de especificidad (Duffus, et al., 1980).

Las fuentes más comunes de nitrógeno que se aplican son: sulfato, nitrato y fosfatos de amonio, urea, amoniaco anhídrido, nitrato de calcio, nitrato de sodio, abonos verdes, estiércoles y otros. La absorción de nitratos estimula la absorción de cationes, pero los Cl^- y OH^- restringen la absorción de nitratos. El exceso de amonio puede restringir la absorción de calcio y potasio.

El potasio (K) se encuentra en una concentración de 1.0 y 0.5% del peso seco de muchos cultivos, este elemento presenta una alta movilidad en tejidos vegetales y su movilidad en el suelo es media, interviene en la formación de azúcar y almidón; síntesis de proteínas. Cataliza reacciones, neutraliza ácidos orgánicos y opera estomas. Da vigor y resistencia a enfermedades, aumenta el tamaño de grano y semilla (Bhandal y Malik, 1988).

Las plantas deficientes presentaran rendimiento reducido, hojas viejas moteadas, con puntos verdes pálido, necróticos o curvadas, con márgenes y puntas quemadas; sistema radical y tallos débiles; estolones cortos. El K se pierde en el suelo por remoción por plantas y por fijación y erosión. Las fuentes más comunes son el nitrato de sulfato, cloruro y fosfato de potasio, sulfato de potasio y magnesio, estiércoles, guanos y compostas.

Los niveles de suficiencia de zinc en follaje varía de 20 a 150 ppm del peso seco; este elemento presenta baja movilidad en suelo y en tejidos vegetales y participa en la síntesis de auxinas, y en las mismas funciones enzimáticas del Mn y Mg.

Las plantas deficientes tienen raíces anormales, hojas moteadas con clorosis intervenal, bronceadas, en "roseta" su disponibilidad para las plantas disminuye al incrementarse el pH del suelo. El zinc reacciona fuertemente con fosfatos y otros compuestos y se fija; además se pierde por remoción por plantas, lavado, y erosión. Las fuentes más comunes que se aplican son el sulfato de Zn y diferentes tipos de quelatos.

F. B. Salisbury, et al., (1994) menciona en la siguiente tabla los elementos esenciales y su forma disponible para la mayoría de las plantas superiores como sus concentraciones internas que se consideran adecuadas.

Cuadro sinóptico 1.- Elementos esenciales para la mayoría de las plantas superiores y concentraciones internas que se consideran adecuadas.

| Elemento | símbolo químico | forma disponible | concentración en tejido seco (mg/kg) |
|-----------|-----------------|---|--------------------------------------|
| Molibdeno | Mo | MoO_4^{2-} | 0.1 |
| Cobre | Cu | Cu^+ , Cu^{2+} | 0.0006 |
| Cinc | Zn | Zn^{2+} | 0.0020 |
| Manganeso | Mn | Mn^{2+} | 0.0050 |
| Boro | Bo | H_3BO_3 | 0.0020 |
| Hierro | Fe | Fe^{3+} , Fe^{2+} | 0.010 |
| Fósforo | P | H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} | 0.2 |
| Magnesio | Mg | Mg^{2+} | 0.2 |
| Potasio | K | K^+ | 1.0 |

En negritas se indica la más común de las dos formas

De Brown, et al., (1987)

Fuente: Modificado de Stout, (1961)

IMPORTANCIA DE LAS LEGUMINOSAS

En el mundo se encuentran clasificadas alrededor de 18,000 especies de leguminosas, sólo en México 1,707; distribuidas en 134 géneros, una docena son utilizadas en alimentación humana. La mayoría son plantas silvestres, que se desarrollan en condiciones geográficas y climáticas diversas, junto con los cereales las leguminosas constituyen el principal producto alimenticio de bajo costo con un elevado valor proteico de 8 a 13% y 15 a 40% respectivamente. México, Centro y Sudamérica se registran un consumo per cápita promedio de 50 a 100 g. de leguminosas (Turner, 1959).

Extensas áreas de Nuevo León están representadas por leguminosas arbustivas y arbóreas, abundantes en géneros y especies las cuales desempeñan un papel trascendental en el hábitat de la zona (Foroughbakhch, et al., 1988).

La familia LEGUMINOSAE es considerada como un grupo de plantas ideales para la producción de alimento y forraje, ya que éstas requieren un mínimo esfuerzo de inversión, crecen bajo condiciones de suelo poco profundos y pobres en nutrientes, algunas plantas de la familia de no requieren ser irrigadas, para la producción de proteínas de un alta calidad y poseen la capacidad de fijar el nitrógeno de aire, el género *Leucaena leucocephala* contiene un alto contenido de proteína cruda (Gupta, et al., 1986), es por ello que en diferentes estados de la república Mexicana ha sido utilizada en la alimentación humana (Foroughbakhch y Háuad, 1989). Las hojas maduras de *Leucaena* poseen un alto nivel de carotenos, y por lo tanto de vitamina A, estos valores se encuentran por encima de los que presenta la alfalfa (Bréwbaker, 1985).

Las semillas y sus subproductos son componentes principales de la dieta humana, a nivel mundial, los cereales contribuyen con cerca del 50% de consumo de energía per cápita. El consumo máximo tiene lugar en el Mediterráneo y el Lejano Oriente, en donde más del 65% del abastecimiento total de energía proviene de los cereales. Otras semillas, como las leguminosas, nueces y oleaginosas, son de particular importancia de los países desarrollados, principalmente como fuente de proteína.

Proceso de germinación

La germinación es un proceso de cambio de una pequeña estructura inactiva viviendo con abastecimiento mínimo, a una planta que crece activamente, destinada a llegar a la autosuficiencia antes que los materiales de reserva de la semilla se terminen.

Como las semillas, casi invariablemente, pasan por un período de desecación durante la maduración, la primera fase, de la germinación es la absorción del agua (imbibición) aunque, por supuesto, esto puede tener éxito sólo cuando la temperatura está en rango apropiado. En la mayor parte de los casos también hay necesidad de oxígeno, ya que en la respiración oxidativa es una norma, aunque en las etapas más tempranas frecuentemente la energía se libera a través de la fermentación de las reservas de los alimentos. Además de estos requerimientos básicos, algunas especies necesitan condiciones favorables, por ejemplo, la luz de una longitud de onda particular o el etileno producido por las bacterias del suelo. La primera expresión visible del reactivado proceso de crecimiento es la emisión de la radícula, etapa de por sí suficiente para analizar el fenómeno de la germinación en las investigaciones básicas sobre el tema (Duffus, et al., 1980).

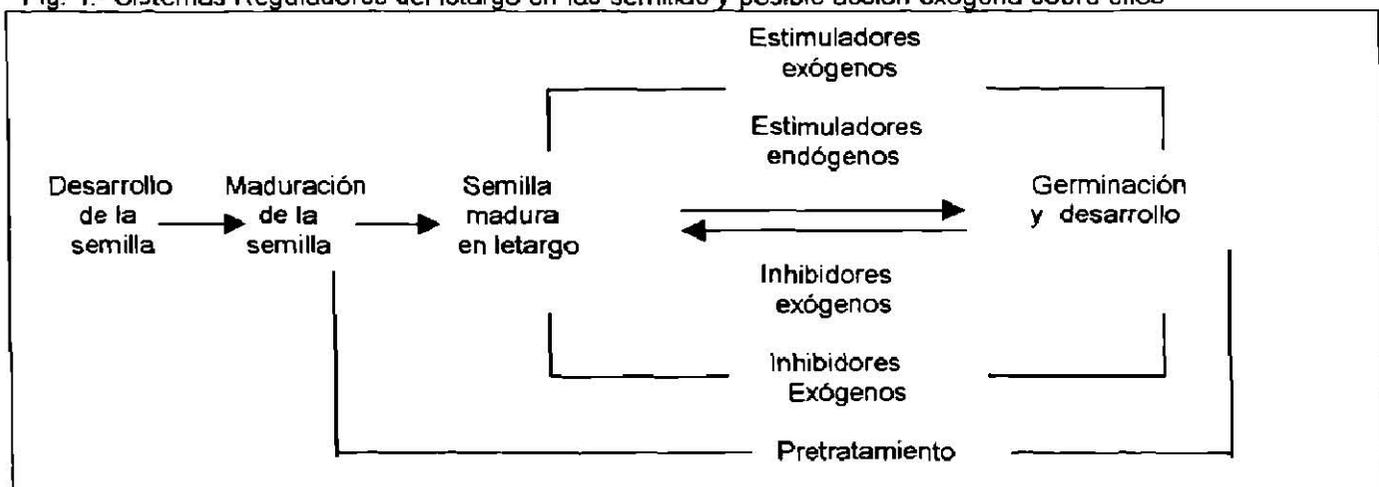
En el período de letargo del embrión deben distinguirse dos fases, y es preferible, para evitar ambigüedades de lenguaje, llamar letargo o dormancia a la primera y vida latente a la segunda. En muchas especies, cuando la semilla termina de formarse, el embrión entra en letargo y no germina, aunque se le coloque en un medio apropiado, sino hasta que pasa un cierto tiempo, que pueden ser de varios meses. Posteriormente, aunque esté listo para proseguir su desarrollo, si el medio no es apropiado no lo hace, pero tampoco muere.

Si no que sigue viviendo con sus procesos fisiológicos casi suspendidos o suspendidos del todo, en vida latente; así puede permanecer muchos años. No todas las especies presentan letargo; el trigo y maíz, por ejemplo, pueden germinar en cuanto se forma el embrión y, si no se cosechan pronto, pueden germinar sobre la planta madre; en cambio, todas las especies tienen el poder de entrar en vida latente pudiendo ser agrupadas por un tiempo variable, pero en general durante muchos años (R. Garcidueñas, 1972).

Algunas causas del fenómeno son las siguientes:

- Testa dura:** algunas semillas tienen una cubierta que presenta gran resistencia mecánica y el hipocotilo no puede romperla.
- Testa impermeable:** muchas semillas poseen cubiertas que son relativamente duras pero, principalmente, son impermeables al agua al oxígeno, factores básicos para que los coloides del embrión se hidraten y para que tenga energía respiratoria y pueda entrar en actividad. En agricultura se denomina "Testa Dura" sin diferenciar si es dura o impermeable
- Embriones rudimentarios o no diferenciados:** en algunas especies, la semilla o fruto parecen maduros, pero el embrión no se acaba aún de formar (algunos fresnos), o bien está completo anatómicamente pero las células no han sufrido la diferenciación necesaria para pasar al siguiente estado fásico.
- Presencia de inhibidores:** cada vez parece ser más común que las semillas posean sustancias en la testa capaces de inhibir la germinación; se han identificado como inhibidores naturales la cumarina, la abscisina, el ácido paraascórbico y otros (R. Garcidueñas, 1972). La significancia biológica del letargo o de la dormancia es obvia puesto que evita la germinación temprana en donde la plántula podría tratar de crecer en el invierno más que en primavera (Duffus, et al., 1980).

Fig. 1.- Sistemas Reguladores del letargo en las semillas y posible acción exógena sobre ellos



Fuente: Rojas Garcidueñas, (1972)

MATERIAL Y METODO

MUESTREO Y SECADO DEL LODO

Se efectuó un muestreo sistemático de lodos mediante el uso de un aparato colector de hierro fundido, con contrapesas de plomo, el cual fue introducido en el tanque por medio de una cadena que lleva marcas para indicar las diferentes profundidades. El aparato va contenía unas válvulas que operaban mediante una cuerda, de manera que un tirón de la cuerda, en la profundidad deseada, se abrieran las válvulas entre los lodos desde el fondo mientras escapa el aire por la boca (NOM-AA-15-1985). Para facilitar el desplazamiento y manejo fue necesario deshidratar el lodo, para ello se construyó un cuadrante de madera de 3x3x0.30, con diferentes capas de grava de 0.5 hasta 2 cm de diámetro, finalmente se colocó una manta que hizo las veces de losa de salpicado (Metcalf & Eddy, 1996); (Ruíz, 1999). Después de verter el desecho dentro del cuadrante fue expuesto a los rayos de sol, hasta obtener una humedad igual o menor al 15%.

Los lodos secos fueron molidos en un pulverizador marca PULVEX 200 (ver foto 12), para obtener una textura de 1mm de diámetro para homogeneizar la mezcla de biosólido-suelo, después se conservó en bolsas de poliestireno.

ANÁLISIS DE CRETIB Y DETERMINACIÓN DE METALES

Antes de incorporar los biosólidos a los suelos, se les efectuó un análisis de CRETIB con el fin de determinar la peligrosidad donde el punto de vista de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, e inflamabilidad y biológico-infeccioso; en este último solo se considera la determinación de los coliformes totales y fecales, la determinación de *Salmonella*, *Shigella* y huevos de helmito. Para ello se consultó las Normas Oficiales Mexicanas NOM-CRP-052-ECOL-93 y la NOM-CRP-053-ECOL-93 establecidas por la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca también así se respetaron los criterios establecidos en la normativa del apartado 261 y 262 "Identification and Listing of Hazardous Waste" de la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) para cada uno de los parámetros estudiados con el fin de conocer las características del residuo.

Para la determinación de los parámetros biológicos-infecciosos la metodología aplicada fue la establecida por la Norma Oficial Mexicana y otras dependencias, la cual consta en determinar: a) número más probable de coliformes totales y fecales: (NMX-AA-042-1992); b) determinación de *Salmonella*: (APHA-AWWA-WPCF, 1992); c) determinación de *Shigella* (APHA-AWWA-WPCF, 1992); d) determinaciones parasitológicas: (NOM-001-ECOL-1996).

También fueron determinados los metales mediante la emisión atómica por plasma de argón, exceptuando arsénico que se determinó por absorción atómica en generador de hidruros.

MUESTREO Y ANÁLISIS DEL SUELO

El muestreo se llevó a cabo en suelos tipo verticales donde se seleccionó suelos a diferentes profundidades (0-30 y 30-60 Cm) para determinar la textura y estructura del suelo. Las muestras fueron llevadas al laboratorio para su posterior análisis químicos correspondientes de acuerdo a las siguientes Normas Oficiales Mexicanas.

a) evaluación de la humedad: (NMX-AA-16-1984); b) capacidad de retención de agua: (Manual de hidrología de la F.C.B.); c) determinación de pH: (NMX-AA-25-1984); d) determinación de la conductividad eléctrica: (Carmona Ruíz, G., 1989); e) determinación de los sólidos totales: (APHA-AWWA-WPCF,1992); f) determinación de la materia orgánica: (NMX-AA-21-1985); g) determinación del nitrógeno: (NMX-AA-24-1994); h) evaluación del contenido del potasio:(200.7 EPA); e i) evaluación de metales pesados(APHA-AWWA-WPFC, 1992).

SELECCIÓN DE ESPECIES VEGETALES Y DESCRIPCIÓN BOTANICA

El germoplasma sobre el cual realizó el presente estudio fue colectado en el sudeste de Nuevo León (24° 47' N.), correspondiendo a 3 especies arbustivas :*Leucaena leucocephala* (guaje), *Pithecellobium ebano* (ebano) y *Pithecellobium pallens* (tenaza).

CLASIFICACIÓN TAXONOMICA DE LAS ESPECIES

| | |
|-------------|------------------------|
| REINO | VEGETAL |
| DIVISIÓN | EMBRIOPHYTA |
| SUBDIVISIÓN | FANERÓGAMA |
| CLASE | ANGIOSPERMAE |
| SUBCLASE | DICOTILEDONÉAE |
| ORDEN | ROSALES |
| TRIBU | MIMOSAE |
| FAMILIA | LEGUMINOSAE O FABACEAE |
| SUBFAMILIA | MIMOSOIDEAE |

Fuente: Cronquist, (1978).

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LAS ESPECIES

Leucaena leucocephala

Leucaena leucocephala es una especie cauducifolia de tipo arbustiva arbórea, carecen de espinas, presenta un color verde, olor semejante al ajo y de sabor amargo, de 1 a 18 metros de altura, tallo ramificado, liso o levemente corrugado, copa redondeada con un área foliar menor de 5 metros de diámetro. Hojas de 20 cm de largo, con 14 pinnas 6.67 cm, con 13 pares de folíolos. Con un sistema radicular profundo y raíz pivotante de 2 a 3 m suficiente para extraer agua del subsuelo lo que permite resistir largos periodos de sequía, inflorescencias en cabezuelas de color crema a blanco, de forma redondeada de 1.5 a 2 mm, estambres de 10 mm con anteras pilosa. Su estado fenológico se encuentran muy relacionado con condiciones climáticas. La especie *leucocephala* perteneciente a uno de las dieciséis especies (Turner, 1959).

Pithecellobium ebano (Benth)C. H. Mull.

Arboles de 8 a 15 metros de altura, densamente ramificados con follaje verde-oscuro; espinoso, con hojas compuestas de 4 a 5 centímetros de largo. Las flores son blancas, fragantes, en racimos, de 3 centímetros de largo. El fruto es una vaina tardamente dehiscente; con semillas rojo-oscuros de 1 centímetro. Su madera es sólida y difícilmente se pudre, lo cual le confiere gran valor en construcción; ebanistería y artesanía. Sus frutos se han usado en curtiduría y las semillas son comestibles (Foroughbakhch, et al., 1988).

***Pithecellobium pallens* (Benth) Standl.**

Arbustos de 4-5 m de altura, ramas armadas con rectas, estipulares, 8-19 mm de largo, hojas alternas, bipinnado compuestas, 5-11 cm de largo, pinnas 4-7 pares de hojas, 2-4.5 cm de largo; folíolos 14-22 pares por pinnas, oblongos, 4.5-6.5 mm de largo 1.1-1.5 mm de ancho ligeramente oblicuos agudos al ápice asimétricos a la base, diminuta y esparcidamente pubescentes; inflorescencias dispuestas en cabezuelas esféricas, blancuecinas, 1.5-2.0 cm de diámetro, axilares o en racimos terminales; cáliz diminuto 1.1-2.0 mm de largo, campanulado, con los lóbulos pequeños, o cónicos, densamente pubescentes; corola actinomorfa, 2.7-3.6 mm de largo 5-lobulada, los dientes cónicos-ovalados, 1-1.5 mm de largo, diminuta y esparcidamente pubescente estambres numerosos, salientes, 10-14 mm de largo unidos basalmente a la altura de la garganta de la corola; ovario diminutamente estipulado, fruto una vaina oblonga, aplanada, elástica, dehiscente, ápice terminado en un pico corto valvas engrosadas en los márgenes, color café claro obscuro. Especies abundantes en las áreas de la planicie, codominante con varias especies de acacia en extensas zonas de matorral, principalmente en suelos poco profundos (Stewart, et al., 1970).

MUESTREO DE SEMILLAS Y PRUEBAS DE GERMINACIÓN

Las semillas fueron colectadas en forma aleatoria en los árboles y arbustos del matorral Tamahulipeco, localizado en la Planicie Costera del Golfo de México en la Cd. De Linares, N. L. Las semillas fueron almacenadas en bolsas de papel conservándolas en el refrigerador.

Para la determinación de los porcentajes de viabilidad se tomaron cien semillas por cada especie en forma separada, las cuales fueron colocadas en vasos precipitados y se agregó agua, durante una semana se cambió el agua, después se contaron las semillas que germinaron y por último se realizaron valores promedios.

Se prelavaron ya que determinadas semillas podrían poseer sustancias inhibitoras de la germinación, estas sustancias fueron eliminadas mediante el proceso de lavar en agua corriente. Después de este proceso, las semillas fueron secadas a una temperatura no superior a los 25 °C. Para remover sustancias inhibitoras. Para romper la dormancia fisiológica se utilizó la técnica de Prerrefrigeración que consiste en mantener las semillas activas ya ubicadas sobre su substrato húmedo (papel filtro), a temperaturas entre 5 y 10 °C durante un período variable de 3 a 7 días. También se utilizó la técnica de presecado la cual implica someter las semillas a una temperatura alta, pero no superior a los 32-40 °C durante un período de 2 a 7 días, antes de ponerlas a germinar.

Para romper la testa de las capas seminales se utilizó la técnica de escarificación mecánica en este tratamiento se persigue lesionar la pared de la semilla por abrasión, corte, pinchado o perforado (foto 15). Efectuando con cuidado para no dañar al embrión; se recomienda usar papel de lija fina. También fue necesario el remojo en este caso se dejaron las semillas a remojar durante 24-48 hrs. y el ensayo de germinación se inició enseguida luego de ese tratamiento al observarse la radícula.

ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE SUELO CON BIOSÓLIDOS

Después de la determinación de las características de ambos sustratos (Biosólido y Suelo) se dio la tarea de elaborar las mezclas bajo la aplicación de diferentes concentraciones dichas mezclas de los denominados tratamientos. En total se aplicaron tratamientos de ambos sustratos mediante la aplicación de las siguientes dosis: a) 100% suelo (testigo), b) 10% biosólido, c) 20% biosólido, d) 30% biosólido, e) 40% biosólido, f) 50% biosólido (fotos 13 y 14). Las mezclas posteriormente fueron vertidas en pequeños contenedores de plástico de 8cm² X 6 cm de altura conteniendo un volumen de 48 cm³ (ver fotografía 16), los cuales fueron colocados en el invernadero con el propósito de ofrecerles condiciones adecuadas a las plantas, para suavizar la textura de las mezclas fue necesario agregarle perlita, este material se utiliza con el fin de inducir un buen flujo del agua, los contenedores de las mezclas presentaban orificios para el drenaje eficaz del agua, más sin embargo, estos eran grandes lo cual producirían un derrame de la mezcla al momento de regar, por ello se colocó fibra de coco con el objeto de impedir tal problema. Una vez listas las preparaciones se sembraron las semillas las cuales presentaban un sistema radicular bien definido, de esta manera se aseguró la emergencia, por último se observó el comportamiento de las especies registrando los cambios del crecimiento, el número de ramas, el número de hojas, los cambios morfológicos y la mortalidad en un periodo de 10 semanas, después de este tiempo se extrajeron los ejemplares y se analizaron para determinar la posible absorción y/o distribución de metales pesados en diferentes comportamientos de la planta. Al mismo tiempo se analizaron las mezclas restantes para registrar los posibles cambios inducidos por tal asociación.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se establecieron ensayos de germinación en cámaras Biotronett III en el Laboratorio de Manejo Integral de Recursos Vegetales de la Facultad de Ciencias Biológicas, bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y luminosidad. Se realizaron mezclas de suelo-biosólido en diferentes concentraciones (Testigo, 10, 20, 30, 40 y 50% de biosólidos incluidos), utilizando un diseño factorial con cinco repeticiones para cada factor (especies y tratamiento), de acuerdo a Zar (1996).

Bajo dicho diseño y durante el período de ensayo, las plantas fueron sometidas a riego manual, se registraron periódicamente los parámetros de crecimiento, patrón de respuesta a las diferentes incorporaciones de biosólidos.

Los datos cuantitativos (crecimiento, producción de biomasa) se sometieron a un análisis de varianza multifactorial donde las especies y los tratamientos son los principales factores. Para detectar las diferencias significativas entre las especies, se efectuó una prueba de comparación múltiples de media Tukey. Se determinó mediante la prueba de Turkey y por último se determinó el grado de variabilidad entre los tratamientos mediante un análisis de regresión múltiple se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS Versión 7.0.

Nota: existe un apéndice para material y método referente a los análisis de suelo.

Optimización de mezclas de biosólidos en ensayos de germinación y evaluación del patrón de comportamiento de tres géneros de la familia LEGUMINOSAE (*Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium ebanum* y *Pithecellobium pallens*).

RESULTADOS

CARACTERISTICAS DEL BIOSÓLIDO

Los biosólidos se caracterizaron inicialmente antes de realizar las mezclas para los diferentes tratamientos. De los resultados más sobresalientes podemos mencionar el análisis CRETIB; tabla 13.

En esta tabla determinamos corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infeccioso, se agrupan los componentes por categorías como componentes inorgánicos, orgánicos no volátiles y orgánicos volátiles.

De lo más importantes para nuestro estudio podemos mencionar a los inorgánicos dentro de los cuales se encuentran arsénico (As), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cromo hexavalente (Cr VI), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plata (Ag), Plomo (Pb), Selenio (Se). todos estos parámetros resultaron valores muy interesantes con respecto a los publicados y establecidos por la norma NOM-053-ECOL-1993.

Es importante destacar que estos valores se aplican únicamente al lote nos fue enviado por el S.A.D.M. tal y como se menciona en material y método.

Tabla 13.- Resultado del análisis CRETIB practicado al Biosólido en base seca.

| CRETIB | RESULTADO | LIMITE MAXIMO | UNIDADES |
|------------------------|-----------|---------------|------------------------|
| Corrosividad | | | |
| pH | 6.6 | 2<pH<12.5 | pH |
| Acero (SAE) | 0.216 | 6.35 | mm/año |
| Reactividad | | | |
| Cianuro | <0.03 | 250 | mg/HCN/Kg |
| Sulfuros | <5 | 500 | mg/H ₂ S/Kg |
| Sol. ácidas/básicas | Negativo | | |
| Explosividad | Negativo | | |
| Toxicidad | | | |
| Compuestos Inorgánicos | | | |
| Arsénico (As) | <0.015 | 5 | Mg/L |
| Bario (Ba) | 0.037 | 100 | Mg/L |
| Cadmio (Cd) | <0.002 | 1 | Mg/L |
| Cromo hexavalente (Cr) | <0.5 | 5 | Mg/L |
| Mercurio (Hg) | <0.0002 | 0.2 | Mg/L |
| Níquel (Ni) | 0.086 | 5 | Mg/L |
| Plata (Ag) | <0.025 | 5 | Mg/L |
| Plomo (Pb) | <0.012 | 5 | Mg/L |
| Selenio (Se) | <0.041 | 1 | Mg/L |
| Orgánicos No Volátiles | | | |
| Acetonitrilo | <0.02 | 5 | Mg/L |
| Clordano | <0.001 | 0.03 | Mg/L |
| o-Cresol | <0.005 | 200 | Mg/L |
| m-Cresol | <0.005 | 200 | mg/L |
| p-Cresol | <0.005 | 200 | |

Optimización de mezclas de biosólidos en ensayos de germinación y evaluación del patrón de comportamiento de tres géneros de la familia LEGUMINOSAE (*Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium ebano* y *Pithecellobium pallens*).

| | | | |
|--------------------------------------|---------|-------|------|
| Ac. 2,4,-Diclorofenoxiacético | <0.2 | 10 | mg/L |
| 2,4-Dinitrotolueno | <0.005 | 0.13 | mg/L |
| Endrin | 0.0057 | 0.02 | mg/L |
| Heptacloro y su epóxido | 0.0023 | 0.008 | mg/L |
| Hexacloroetano | <0.005 | 3 | mg/L |
| Lindano | <0.0001 | 0.4 | mg/L |
| Metoxicloro | <0.005 | 10 | mg/L |
| Nitrobenceno | <0.005 | 2 | mg/L |
| Pentaclorofenol | <0.005 | 100 | mg/L |
| 2,3,4,6-Tetraclorofenol | <0.005 | 1.5 | mg/L |
| Toxafeno | <0.001 | 0.5 | mg/L |
| 2,4,5-Triclorofenol | <0.005 | 400 | mg/L |
| 2,4,6-Triclorofenol | <0.005 | 2 | mg/L |
| 2,4,5-Acido Triclorofenoxipropiónico | <0.2 | 1 | mg/L |
| Toxicidad (NOM-053-ECOL-1993) | | | |
| Orgánicos Volátiles | | | |
| Benceno | <0.02 | 0.5 | mg/L |
| Bis (2-Cloroetil) Eter | <0.005 | 0.5 | mg/L |
| Clorobenceno | <0.02 | 100 | mg/L |
| Cloroformo | <0.02 | 6 | mg/L |
| Cloruro de Metilo | <0.02 | 8.6 | mg/L |
| Cloruro de Vinilo | <0.02 | 0.2 | mg/L |
| 1,2-Diclorobenceno | <0.02 | 4.3 | mg/L |
| 1,4-Diclorobenceno | <0.02 | 7.5 | mg/L |
| 1,2-Dicloroetano | <0.02 | 0.5 | mg/L |
| 1,1-Dicloroetileno | <0.02 | 0.7 | mg/L |
| Disulfuro de Carbono | <0.02 | 14.4 | mg/L |
| Fenol | <0.005 | 14.4 | mg/L |
| Hexaclorobenceno | <0.005 | 0.13 | mg/L |
| Hexaclorobutadieno | <0.005 | 0.5 | mg/L |
| Isobutanol | <0.02 | 36 | mg/L |
| Metil Etil Cetona | <0.02 | 200 | mg/L |
| Piridina | <0.005 | 5 | mg/L |
| 1,1,2,2-Tetracloroetano | <0.02 | 1.3 | mg/L |
| 1,1,1,2-Tetracloroetano | <0.02 | 10 | mg/L |
| Tetracloruro de carbono | <0.02 | 0.5 | mg/L |
| Tetracloroetileno | <0.02 | 0.7 | mg/L |
| Tolueno | <0.02 | 14.4 | mg/L |
| 1,1,1-Tricloroetano | <0.02 | 30 | mg/L |
| 1,1,2-Tricloroetano | <0.02 | 1.2 | mg/L |
| Tricloroetileno | <0.02 | 0.5 | mg/L |
| Inflamabilidad | | | |
| Punto de Ignición | NA | 60 | °C |

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El suelo es un cuerpo natural, sintetizado en su perfil a partir de una mezcla variable de minerales desmenuzados y modificados atmosféricamente, junto con materia orgánica en desintegración, que cubre la tierra en una capa delgada y que proporciona, cuando contiene cantidades adecuadas de aire y agua, el soporte mecánico y el sustento de las plantas. Por tal motivo nos dimos a la tarea de caracterizar el suelo incluido en nuestro estudio. Sometiéndose a análisis de fertilidad y otros parámetros, lo que nos permitió determinar que se trata de un suelo de buenas condiciones, del tipo Feozem Calcárico-Castañozem Háplico (Carta Edafológica, 1996); las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (5, 5.41 y 129 ppm). La capacidad de retención de humedad en el suelo se muestra como la capacidad de campo que debe presentar un suelo del tipo arcilloso (24.91%) como indican las tablas 14 y 15.

Tabla 14. - Características del Suelo en base a parámetros de fertilidad y otros elementos.

| ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS | VALORES DETERMINADOS |
|---|---|
| pH | 7.9 Muy Alcalino |
| Det. de Sales Solubles Totales (Puente de Wheatstone) | 1.5 Mmhos/cm No Salino |
| Det. de Textura (Método de Bouyoucos) | 21.84 Arena, 28 Limo, 50.16% Arcilla. ARCILLOSO |
| Determinación. de Materia Orgánica | 1.42 %Medianamente Rico |
| Capacidad de Retención de Agua | 24.91 % |
| Nitrógeno disponible | 5.000 mg/L |
| Fósforo disponible | 41.000 mg/L |
| Potasio disponible | 129.000 mg/L |
| Calcio | 134,078 mg/L |
| Magnesio | 5409.82 mg/L |
| Fierro | 9964.70 mg/L |
| Cobre | 5.78 mg/L |
| Manganeso | 159.44 mg/L |
| Zinc | 39.34 mg/L |
| Molibdeno | 0.0000 mg/L |
| Boro | 35.16 mg/L |
| Cadmio | 0.01 mg/L |
| Mercurio | 0.07 mg/L |
| Cromo | 16 mg/L |
| Níquel | 7.40 mg/L |
| Plomo | 31.57 mg/L |

Tabla 15. - Concentraciones de metales esenciales para el desarrollo de la planta en suelo (antes de la mezcla).

| Metales | Suelo (100%) | Lodo (100%) |
|----------------|--------------|-------------|
| Cobre (Cu) | <0.024 ppm | <0.024 ppm |
| Fierro (Fe) | 0.669 ppm | <0.083 ppm |
| Manganeso (Mn) | 0.348 ppm | 0.823 ppm |
| Zinc (Zn) | 0.211 ppm | 0.089 ppm |

Valor promedio de germinación de especies

Tabla 16.- Porcentajes de germinación

| Especie | Porcentaje |
|-------------------------------|------------|
| <i>Leucaena leucocephala</i> | 87% |
| <i>Pithecellobium ebano</i> | 82% |
| <i>Pithecellobium pallens</i> | 90% |

Determinación de macro y micronutrientes en las especies de estudio

Tabla 17.- Cuantificación de micro y macronutrientes en función de suelos y concentración de biosólidos en mezclas en las especies de estudio (ppm).

a) *Leucaena leucocephala*

| Elemento | Testigo | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|
| Boro | 47.85 | 43.59 | 43.34 | 46.4 | 38.77 | 54.33 |
| Cobre | 7.03 | 3.81 | 4.64 | 4.58 | 5.00 | 6.06 |
| Fierro | 210.24 | 398.22 | 139.57 | 146.6 | 126.77 | 300.57 |
| Fósforo | 2571.86 | 2016.34 | 2236.18 | 2236.6 | 2164.44 | 3154.62 |
| Magnesio | 2215.59 | 2465.94 | 2648.24 | 2410.9 | 2043.33 | 2913.29 |
| Manganeso | 6.26 | 51.22 | 74.87 | 46.4 | 55.11 | 94.22 |
| Molibdeno | 18.34 | 4.08 | 4.14 | 4.83 | 3.88 | 3.17 |
| Potasio | 16391.43 | 29441.41 | 24660.80 | 21170.4 | 19133.33 | 24017.34 |
| Sodio | 77.06 | 324.93 | 108.29 | 388.5 | 71.55 | 447.54 |
| Zinc | 56.26 | 177.38 | 36.55 | 35.8 | 31.33 | 80.20 |

b) *Pithecellobium ebano*

| Elemento | Testigo | 10% | 20% | 30% | 50% |
|-----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Boro | 34.96 | 38.25 | 35.71 | 30.63 | 30.36 |
| Cobre | 23.74 | 11.06 | 13.73 | 29.27 | 50.92 |
| Fierro | 1527.70 | 601.50 | 2126.37 | 1373.87 | 3343.55 |
| Fósforo | 2693.93 | 2838.79 | 4504.39 | 8211.71 | 10478.52 |
| Magnesio | 1823.21 | 2109.29 | 3137.36 | 3756.75 | 4466.25 |
| Manganeso | 25.19 | 45.08 | 91.20 | 36.48 | 68.40 |
| Molibdeno | 5.93 | 2.04 | 1.09 | 2.70 | 1.84 |
| Potasio | 8407.65 | 14043.71 | 13906.59 | 19427.92 | 6199.38 |
| Sodio | 5348.28 | 2856.55 | 4219.78 | 10063.06 | 2223.62 |
| Zinc | 177.44 | 63.66 | 147.25 | 585.58 | 240.18 |

Nota: En el tratamiento 40% biosólido no se desarrollo planta alguna.

c) *Pithecellobium pallens*

| Elemento | Testigo | 10% | 20% | 30% | 50% |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Boro | 25.00 | 23.81 | 18.02 | 21.16 | 18.33 |
| Cobre | 7.67 | 3.20 | 3.42 | 0.05 | 5.88 |
| Fierro | 207.79 | 99.72 | 88.95 | 243.37 | 442.11 |
| Fósforo | 2310.46 | 2756.26 | 3776.65 | 3802.32 | 6524.44 |
| Magnesio | 2325.58 | 2576.60 | 2364.21 | 2554.65 | 3065.55 |
| Manganeso | 12.90 | 52.22 | 56.47 | 48.95 | 87.00 |
| Molibdeno | 14.65 | 3.06 | 2.15 | 3.14 | 3.22 |
| Potasio | 12790.69 | 12442.89 | 13337.56 | 15302.32 | 15977.77 |
| Sodio | 158.83 | 101.39 | 87.05 | 107.32 | 566.33 |
| Zinc | 57.90 | 30.50 | 30.07 | 42.20 | 59.11 |

Nota: En el tratamiento 40% biosólido no se desarrollo planta alguna.

Resultados de las concentraciones de metales pesados

Tabla 18.- Determinación de metales pesados en testigo y mezclas (ppm).

| Elemento | Testigo | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Arsénico | 9.83 | 1.75 | 2.68 | 2.45 | 2.66 | 2.73 |
| Cadmio | 15.41 | 1.14 | 1.55 | <0.02 | 0.70 | 2.65 |
| Cobre | 392.91 | 19.84 | 29.96 | 8.54 | 100.00 | 37.11 |
| Cromo | 849.16 | 58.39 | 92.60 | 21.93 | 67.01 | 126.28 |
| Magnesio | 3357.08 | 5110.68 | 5210.11 | 4114.24 | 3761.40 | 3536.08 |
| Manganeso | 202.91 | 225.57 | 191.05 | 163.23 | 139.64 | 167.78 |
| Potasio | 3302.50 | 4190.84 | 4618.67 | 3840.45 | 3081.75 | 3298.96 |
| Sodio | 992.50 | 367.17 | 788.71 | 292.73 | 362.80 | 318.55 |
| Zinc | 3479.16 | 258.01 | 295.33 | 100.28 | 767.36 | 382.99 |

Conductividad eléctrica expresada en $\mu\text{mhos/cm}$

La importancia del cambio de cationes es que evita la lixiviación de los nutrientes solubles. Las conductividades bajas son evidencia de que la velocidad de movilización de elementos nutritivos es baja o de que algunos de ellos están ausentes. Para el género *Leucaena leucocephala* los tratamientos con 10, 20 y 30% de biosólidos presentaron una conductividad de 54.6, 54.9 y 57.1, mientras que los tratamientos 40 y 50% de biosólidos los resultados fueron 89.2 y 82.8 en tanto que el tratamiento 1 (testigo) presento un valor por encima de todos los antes mencionados con 198.0.

Pithecellobium ebano presentó valores menores comparados con los resultados de *Leucaena leucocephala*, el tratamiento 2, 3, y 4 volvieron a presentar los valores inferiores con 56.7, 57.1 y 59.7 mientras para los tratamientos 5 y 6 los resultados son 70.1 y 70.6 el testigo fue el máximo valor con 187.0. *Pithecellobium pallens* presento valores inferiores con respecto a los dos géneros anteriores con un valor de 58.1, 59.6 y 59.9 correspondientes a los tratamiento 10, 20 y 30% de biosólidos. Los tratamiento 5 y 6 presentaron 60.8 y 65.3 el testigo fue el valor más alto 178.0.

Potencial de Hidrogeno expresado como pH

Los valores para *Leucaena leucocephala* presentaron algunas diferencias por ejemplo el tratamiento testigo y 50% de biosólidos con valores de 7.14 y 7.67 por lo tanto su pH es neutro, el tratamiento 40% biosólido con un pH de 6.8 el cual es visiblemente alcalino en tanto los tratamientos 10, 20 y 30% de biosólidos con un pH de 8.80, 8.23 y 8.71 los cuales son alcalinos.

Pithecellobium ebano presento un pH de 7.25 en el tratamiento que funcionó como testigo y los demás tratamientos presentaron pH por encima de 8. Semejante al género anterior *Pithecellobium pallens* presentó un pH inferior para el tratamiento 1 con 7.45 considerado como neutro y los restantes con un pH por encima de 8 incrementando su valor conforme al porcentaje de biosólidos suministrados.

Tabla 19.- Conductividad y potencial de hidrógeno en suelo cultivado

a) *Leucaena leucocephala*

| Tratamiento | Conductividad eléctrica | pH | Peso (Gr.) | Potencial redox M.V. | Potencial redox M. V. relativo |
|---------------|-------------------------|--------|------------|----------------------|--------------------------------|
| 100% Suelo | 198.0 | 7.14 | 1.0 | - | - |
| 90% S - 10% B | 54.6 | 8.80 | 1.0 | - | - |
| 80% S - 20% B | 54.9 | 8.23 | 1.0 | - | - |
| 70% S - 30% B | 57.1 | 8.71** | 1.1 | - | - |
| 60% S - 40% B | 89.2 | 6.80** | 1.1 | 0.001.0 | 0.008.2 |
| 50% S - 50% B | 82.8 | 7.67** | 1.1 | -035.4 | -0020.7 |

b) *Pithecellobium ebano*

| Tratamiento | Conductividad eléctrica | pH | Peso |
|---------------|-------------------------|------|------|
| 100% Suelo | 187.0 | 7.25 | 1.0 |
| 90% S - 10% B | 56.7 | 8.63 | 1.0 |
| 80% S - 20% B | 57.1 | 8.45 | 1.0 |
| 70% S - 30% B | 59.7 | 8.32 | 0.9 |
| 60% S - 40% B | 70.1 | 8.50 | 1.1 |
| 50% S - 50% B | 70.6 | 8.61 | 1.0 |

c) *Pithecellobium pallens*

| Tratamiento | Conductividad eléctrica | pH | Peso |
|---------------|-------------------------|------|------|
| 100% Suelo | 178.0 | 7.45 | 1.0 |
| 90% S - 10% B | 58.1 | 8.67 | 1.0 |
| 80% S - 20% B | 59.6 | 8.74 | 1.0 |
| 70% S - 30% B | 59.9 | 8.79 | 1.0 |
| 60% S - 40% B | 60.8 | 8.80 | 0.9 |
| 50% S - 50% B | 65.3 | 8.81 | 0.9 |

Resultados microbiológicos iniciales expresados en NMP

El tratamiento que funcionó como testigo no presentó coliformes fecales por lo tanto tampoco totales, sin embargo, en el tratamiento 10% de biosólido presentó 2.2 como resultado de los coliformes fecales y el resultado de coliformes totales fue de 7. Para el tratamiento 80% de biosólido se observó un incremento casi tres veces en comparación a los coliformes fecales y totales fueron 6 y 24 respectivamente, indicando la existencia de una diferencia cuanto al tratamiento 30% de biosólido con un valor de 7 para los coliformes fecales y 26.7 para los coliformes totales. Los valores correspondientes al tratamiento 40% de biosólido con un valor de 76 para coliformes fecales y 139.3 para coliformes totales y por último 132 como coliformes fecales y 220 como coliformes totales estos para el tratamiento 50% de biosólido. Estos resultados demuestran el incremento proporcional a mayor concentración de biosólidos mayor el número de coliformes. También cabe mencionar que para *Salmonella* y *Shigella* los resultados fueron negativos al igual para los huevos de helmito.

Resultados microbiológicos finales en mezclas

Conforme a los límites permisibles los resultados microbiológicos no presentaron problema alguno ya que las concentraciones o NMP se ubicaron por debajo de estos de igual manera no se observaron huevos de helmitos ni presencia de *Salmonella* ni *Shigella*, como lo indica la tabla 20.

Tabla 20.- Microbiología final de mezclas en coliformes fecales y totales en suelo y mezclas

| Coliformes fecales Tratamiento | Peso (Gr.) | Indice del NMP por gr. | Peso (Gr.) | Indice del NMP por gr. | Peso (Gr.) | Indice del NMP por gr. |
|--------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| | <i>Leucaena</i> | | <i>P. ebano</i> | | <i>P. pallens</i> | |
| Testigo | 10.1514 | 0.7 | 9.8640 | 0.7 | 10.1518 | 0.7 |
| 10% de biosólido | 9.9816 | 0.9 | 9.4616 | 2.3 | 9.1843 | 1.3 |
| 20% | 9.7514 | 1.1 | 9.3018 | 4.3 | 9.5047 | 2.1 |
| 30% | 10.016 | 1.3 | 10.1516 | 0.9 | 9.6072 | 2.8 |
| 40% | 10.0414 | 2.3 | 11.0614 | 9.3 | 10.0214 | 4.3 |
| 50% | 10.2514 | 15 | 10.1214 | 4.3 | 10.1314 | 7.5 |
| Coliformes finales Tratamiento | Peso (Gr.) | Indice del NMP por gr. | Peso (Gr.) | Indice del NMP por gr. | Peso (Gr.) | Indice del NMP por gr. |
| Testigo | 10.1514 | 1.3 | 9.8640 | 0.9 | 10.1518 | 0.7 |
| 10% de biosólido | 9.9816 | 0.9 | 9.4616 | 4.3 | 9.1843 | 2.8 |
| 20% | 9.7514 | 1.4 | 9.3018 | 9.3 | 9.5047 | - |
| 30% | 10.016 | 3.9 | 10.1516 | 2.3 | 9.6072 | 4.3 |
| 40% | 10.0414 | 4.3 | 11.0614 | 15 | 10.0214 | 15 |
| 50% | 10.2514 | 110.0 | 10.1214 | 21 | 10.1314 | 21 |

Nota: Salmonella y Shigella los resultados fueron negativos

Crecimiento y comportamiento de plantas

El género *Leucaena leucocephala* presentó un excelente crecimiento en los tratamientos 10% de biosólido (32.6 cm) y 20% de biosólido (32.0 cm) estos por encima del testigo el cual fue de (31.6 cm), el tratamiento 30% de biosólido presentó un severo marchitamiento y mortandad. El tratamiento 40% de biosólido también presenta un buen crecimiento aunque un poco inferior (25.5 cm), ver fotos 1, 2, 3 y 4.

Para *Pithecellobium ebano* el mayor crecimiento ocurrió en el tratamiento 10% de biosólido (foto 5) este hasta dos veces superior al testigo con una altura de 10 cm, a (el testigo fue de 3.4 cm), al cabo de las 10 semanas algunos tratamientos presentaron un crecimiento no significativo ya que la mayoría de estos ejemplares marchitaron y murieron al no adaptarse al medio de cultivo (mezcla).

Para *Pithecellobium pallens* el tratamiento 30% de biosólido (Foto 9) resultó con el mejor crecimiento de 32.5 cm siendo superior al testigo (Foto 6) que fue de 26.76 cm, el tratamiento 10% y 20% de biosólido (Foto 8) con un crecimiento en altura de 26.1 cm y 25.3 cm se consideran también adecuadas concentraciones para esta especie ya que el crecimiento se ubica un poco inferior al testigo.

Tabla 21.- Crecimiento de las plantas en diferentes tratamientos con biosólidos

| Tratamiento | <i>Leucaena leucocephala</i> | <i>Pithecellobium ebano</i> | <i>Pithecellobium pallens</i> |
|------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Testigo | 31.6 cm | 03.4 cm | 26.76 cm |
| 10% de biosólido | 32.6 cm | 10.4 cm | 26.10 cm |
| 20% de biosólido | 32.0 cm | 0.90 cm | 25.30 cm |
| 30% de biosólido | 9.80 cm | 0.60 cm | 32.50 cm |
| 40% de biosólido | 25.5 cm | 0.00 cm | 00.00 cm |
| 50% de biosólido | 15.5 cm | 1.20 cm | 12.40 cm |

Optimización de mezclas de biosólidos en ensayos de germinación y evaluación del patrón de comportamiento de tres géneros de la familia LEGUMINOSAE (*Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium ebano* y *Pithecellobium pallens*).

Biomasa expresados en gramos

Para el género *Leucaena leucocephala* el testigo presento el valor mas alto con respecto a la biomasa (1.30 gr) seguido del tratamiento 40% de biosólido con un valor de (0.94 gr), después el tratamiento 10% de biosólido con (0.81 gr) después el tratamiento 20% de biosólido con (0.76 gr), el tratamiento 50% de biosólido (0.68 gr) y el tratamiento 30% de biosólido como último con (0.13 gr).

Pithecellobium ebano el tratamiento testigo presento un valor de (0.23 gr) el valor más alto (0.44 gr) corresponde al tratamiento 10% de biosólido, después el tratamiento 50% de biosólido con un valor de (0.21 gr) seguido del tratamiento 30% de biosólido con (0.12 gr).

En el presente estudio el género *Pithecellobium pallens* presento una semejanza en la mayoría de sus tratamientos excepto para el tratamiento 40% y 50% de biosólido (0.00 y 0.26 gr). Los tratamientos 10%, 20% y 30% de biosólido (0.57, 0.60 y 0.66 gr) presentaron mayor biomasa con respecto al testigo (0.47 gr).

Tabla 22.- Producción de biomasa en diferentes tratamientos con biosólidos

| Tratamiento | <i>Leucaena leucocephala</i> | <i>Pithecellobium ebano</i> | <i>Pithecellobium pallens</i> |
|------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Testigo | 5.20 gr | 0.92 gr | 1.88 gr |
| 10% de biosólido | 3.24 gr | 1.76 gr | 2.28 gr |
| 20% de biosólido | 3.04 gr | 0.36 gr | 2.40 gr |
| 30% de biosólido | 0.52 gr | 0.48 gr | 2.64 gr |
| 40% de biosólido | 3.76 gr | 0.00 gr | 0.00 gr |
| 50% de biosólido | 2.72 gr | 1.64 gr | 1.04 gr |

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Tabla 23) para la altura, demostraron que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) con respecto a las especies (*Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium ebano* y *Pithecellobium pallens*) y a los tratamientos.

Tabla 23.- Análisis de varianza para altura en función de tratamientos y especies.

| Niveles | Promedios \pm Error estándar | Límites de confiabilidad para X ($\alpha = 5\%$) |
|--------------------|--------------------------------|---|
| Especie n= 300 | | |
| <i>Leucaena</i> | 11.57 \pm 0.41 | 10.75 - 12.39 |
| P. ebano | 02.32 \pm 0.41 | 01.50 - 3.14 |
| P. pallens | 08.63 \pm 0.41 | 07.82 - 9.45 |
| Tratamiento n= 150 | | |
| Testigo | 10.89 \pm 0.58 ab | 9.73 - 12.05 |
| 10% de Biosólido | 11.10 \pm 0.58 a | 9.94 - 12.26 |
| 20% | 08.56 \pm 0.58 bc | 7.40 - 9.72 |
| 30% | 07.62 \pm 0.58 c | 6.46 - 8.78 |
| 40% | 03.43 \pm 0.58 c | 2.27 - 4.59 |
| 50% | 03.45 \pm 0.58 c | 2.29 - 4.61 |

* Letra diferente indica diferencia significativa ($p < 0.05$)

Se puede observar que no existe igualdad entre las especies con respecto a la altura ya que formaron tres grupos diferentes mas sin embargo *Pithecellobium ebano* fue la especie mas desigual. Los resultados de las comparaciones entre si demuestran una clara diferencia significativa.

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Tabla 24) para ramas, demostraron que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) con respecto a las especies y tratamientos.

Tabla 24.- Análisis de varianza correspondientes al número de ramas de especies en función de tratamientos

| Niveles | Promedios \pm Error estándar | Límites de confiabilidad para X ($\alpha = 5\%$) |
|--------------------|--------------------------------|---|
| Especie n= 300 | | |
| <i>Leucaena</i> | 8.74 \pm 0.48 | 7.79 - 9.69 |
| <i>P. ebano</i> | 3.25 \pm 0.48 | 2.30 - 4.20 |
| <i>P. pallens</i> | 9.10 \pm 0.48 | 8.15 - 10.05 |
| Tratamiento n= 150 | | |
| Testigo | 10.35 \pm 0.68 a | 9.00 - 11.69 |
| 10% de Biosólido | 11.24 \pm 0.68 a | 9.89 - 12.58 |
| 20% | 07.38 \pm 0.68 b | 6.03 - 08.72 |
| 30% | 07.05 \pm 0.68 b | 5.70 - 08.39 |
| 40% | 02.71 \pm 0.68 c | 1.36 - 04.05 |
| 50% | 03.47 \pm 0.68 c | 2.12 - 04.81 |

* Letra diferente indica diferencia significativa ($p < 0.05$)

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Tabla 25) para hojas demostraron que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) con respecto a las especies y tratamientos.

Tabla 25.- Análisis de varianza correspondiente al número de hojas de especies en función de tratamiento.

| Niveles | Promedios \pm Error estándar | Límites de confiabilidad para X ($\alpha = 5\%$) |
|--------------------|--------------------------------|---|
| Especie n= 300 | | |
| <i>Leucaena</i> | 121.54 \pm 7.35 | 107.09 - 135.98 |
| <i>P. ebano</i> | 023.52 \pm 7.35 | 9.08 - 37.96 |
| <i>P. pallens</i> | 130.14 \pm 7.35 | 115.70 - 144.58 |
| Tratamiento n= 150 | | |
| Testigo | 139.13 \pm 10.40 a | 118.70 - 159.55 |
| 10% de Biosólido | 129.82 \pm 10.40 a | 109.40 - 150.25 |
| 20% | 99.86 \pm 10.40 a | 79.44 - 120.29 |
| 30% | 97.34 \pm 10.40 a | 76.91 - 117.76 |
| 40% | 36.05 \pm 10.40 b | 15.62 - 056.47 |
| 50% | 48.28 \pm 10.40 b | 27.77 - 068.62 |

* Letra diferente indica diferencia significativa ($p < 0.05$)

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Tabla 25) para hojas por especie, demostraron que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) entre las especies 1-2, siendo estas diferencias para *Leucaena leucocephala* y *Pithecellobium ebano*. Por otro lado se muestra también que solo existe homogeneidad para las especies de *Leucaena leucocephala* y *Pithecellobium pallens*.

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Tabla 26) para mortandad, demostraron que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) con respecto a las especies y tratamientos.

Tabla 26.- Análisis de varianza sobre la mortandad de especies en función de tratamientos.

| Niveles | Promedios \pm Error estándar | Límites de confiabilidad para X ($\alpha = 5\%$) |
|--------------------|--------------------------------|---|
| Especie n= 300 | | |
| <i>Leucaena</i> | 0.12 \pm 0.03 | 0.05 - 0.18 |
| <i>P. ebanó</i> | 0.19 \pm 0.03 | 0.12 - 0.25 |
| <i>P. pallens</i> | 0.14 \pm 0.03 | 0.07 - 0.21 |
| Tratamiento n= 150 | | |
| Testigo | 0.13 \pm 0.04 c | 0.03 - 0.22 |
| 10% de Biosólido | 0.04 \pm 0.04 c | -0.04 - 0.14 |
| 20% | 0.14 \pm 0.04 c | 0.04 - 0.23 |
| 30% | 0.16 \pm 0.04 ab | 0.07 - 0.26 |
| 40% | 0.09 \pm 0.04 ab | 0.00 - 0.18 |
| 50% | 0.33 \pm 0.04 a | 0.23 - 0.42 |

* Letra diferente indica diferencia significativa ($p < 0.05$)

De acuerdo a la tabla 27 la mortandad se formaron tres grupos el primero de ellos lo constituían los tratamientos testigo, 10% y 20% de biosólido lo que significaba que eran homogéneos, el segundo grupo lo formaban los tratamientos 30% y 40% de biosólidos que eran homogéneos entre sí. En cambio el tratamiento 50% de biosólidos presentó diferencia significativa con respecto al testigo.

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Tabla 27) para mortandad por tiempo, demostraron que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) con respecto a las especies y tratamientos.

Tabla 27.- Análisis de varianza sobre la mortandad de especies en función del tiempo.

| Niveles n= 900 | Promedios \pm Error estándar | Límites de confiabilidad para X ($\alpha = 5\%$) |
|-------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 0.33 \pm 0.99 ab | 0.19 - 0.46 |
| 2 | 0.03 \pm 0.03 c | -0.10 - 0.16 |
| 3 | 0.03 \pm 0.03 c | -0.10 - 0.16 |
| 4 | 0.06 \pm 0.04 bc | -0.06 - 0.20 |
| 5 | 0.00 \pm 0.00 c | -0.13 - 0.13 |
| 6 | 0.06 \pm 0.03 bc | -0.06 - 0.20 |
| 7 | 0.51 \pm 0.09 a | 0.37 - 0.64 |
| 8 | 0.00 \pm 0.00 c | -0.13 - 0.13 |
| 9 | 0.14 \pm 0.00 bc | 0.00 - 0.27 |
| 10 | 0.33 \pm 0.06 ab | 0.19 - 0.46 |
| Total | 0.15 \pm 0.19 | 0.10 - 0.19 |

La homogeneidad para mortandad con respecto al tiempo formaron cuatro grupos las el primer grupo lo formaron las semanas 2, 3, 5 y 8 el segundo grupo lo constituían las semanas 4, 6 y 9, el tercer grupo lo formaron 1 y 10 por último la semana 7 en la cual se observó una marcada mortandad para todas las especies.

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Tabla 28) para altura por tiempo, demostraron que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) con respecto a las especies y tratamientos, al mismo tiempo se demuestra que la altura es proporcional al tiempo.

Tabla 28. - Comparación múltiples de medias (Tukey, Zar, 1996) en función de diferentes niveles.

| Niveles n= 900 | Promedios \pm Error estándar | Límites de confiabilidad para X ($\alpha = 5\%$) |
|-------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 1.07 \pm 0.12 h | -0.70 - 2.85 |
| 2 | 2.29 \pm 0.22 gh | 0.50 - 4.07 |
| 3 | 3.47 \pm 0.33 fgh | 1.68 - 5.25 |
| 4 | 5.18 \pm 0.44 efg | 3.40 - 6.96 |
| 5 | 6.51 \pm 0.54 def | 4.72 - 8.29 |
| 6 | 7.70 \pm 0.63 cde | 5.92 - 9.49 |
| 7 | 9.89 \pm 0.88 bcd | 8.11 - 11.67 |
| 8 | 10.63 \pm 0.94 bc | 8.85 - 12.41 |
| 9 | 12.60 \pm 1.14 ab | 10.82 - 14.39 |
| 10 | 15.74 \pm 1.49 a | 13.96 - 17.53 |
| Total | 7.51 \pm 0.25 | 6.94 - 8.07 |

DISCUSIONES

Con respecto a la caracterización del biosólido, observamos que de acuerdo a la NOM-ECOL-053-1993, el residuo utilizado cumple con los requerimientos para ser utilizado en prácticas agrícolas, ya que es considerado como no peligroso, lo cual coincide con algunos de los biosólidos obtenidos en países como U. S. A. y Canadá (Stehouwer, et al., 1999) donde se utiliza como mejorador de suelo, obteniendo resultados satisfactorios es especies de cultivo básico. Además se tiene reportes que en Argentina también ha sido empleado el desarrollo de las especies probadas ha sido bueno.

En cuanto a los análisis practicados al suelo encontramos que de acuerdo a las cartas edafológicas (INEGI, 1996), apto por su contenido de minerales, materia orgánica (M. O.) y su capacidad de absorción de humedad. Encontramos además que en relación al biosólido algunos elementos como Cd, Cr, Hg, Ni, Ag y Pb sus concentraciones son más altas, motivo por el cual se considera que el biosólido no influye de manera significativa con relación a estos minerales., en reportes de Webber, (1984), indica que algunos metales pesados como Cr, Hg y Pb en cultivos de lechuga y papa presentan problemas de absorción debido a sus condiciones de cultivo rastreros.

De acuerdo al autor Audus, (1960) el cual menciona que los elementos más abundantes en el suelo son Cr, Ni, Mn, Pb y Zn, estos en una concentración de 1-1.500 mg/kg. Y el Mn puede alcanzar valores hasta 10.000 mg/kg y los valores mínimos se atribuyen al Ca y Hg (0.01-2 mg/kg). En la tabla 14 se demuestra la veracidad con respecto a los elementos más abundantes excepto para Zn ya que se registro un valor de 5409.82 mg/kg este muy por encima con respecto al anterior citado, en cambio para el Mn presento un valor de 159.44 mg/kg, en cuanto al Ca se presento por encima con un valor de 134,078 mg/kg el Hg presento un valor aceptable.

La Universidad de Washington en el año 1997 publico que la mayoría de los metales tienden a estar presentes en pH alcalino, en general todas las mezclas de suelo-biosólidos de la presente investigación presentaron un pH alcalino al igual que se observa que en los tres tratamientos que sirvieron como testigo el pH es neutro, moderadamente básico.

Según Salisbury, (1994) la M. O. puede adsorber fuertemente algunos metales; tal es el caso del Cu, que puede a estar no disponible para las plantas de acuerdo a los resultados de los análisis realizados al suelo y al biosólido antes de su mezcla se registro que el suelo contenía igual cantidad de Cobre (Cu), mayor cantidad de Fierro (Fe) y Zinc (Zn) por el contrario menor concentración de Manganeso (Mn) nótese en la tabla 15.

Los elementos esenciales en tejido seco se presentaron en las siguientes concentraciones. Para boro (Bo) *Leucaena leucocephala* presenta valores semejantes que van de 38.77 hasta 54.33 ppm, no presenta patrón alguno el testigo presenta un valor de 47.85 ppm., para *Pithecellobium ebano* el testigo es de 34.46 ppm, este incremento con la adición del biosólido más sin embargo se observa una disminución proporcional de acuerdo a la adición, *P. pallens* presenta los valores inferiores en comparación de las dos especies anteriores con valores de 18.02 hasta 25.00 ppm este último lo presenta el testigo.

Las plantas deficientes en Cobre (Cu), presentan hojas jóvenes distorsionadas y necrosis en el meristemo apical. La disponibilidad del Cu disminuye al incrementarse el pH del suelo. el exceso de Cu puede ocasionar deficiencia de Fe y clorosis y crecimiento reducido de raíces. Este elemento generalmente está deficiente en plantas que crecen en suelos orgánicos. Las fuentes mas comunes que se aplican son el sulfato de Cu y diferentes fungicidas que contienen este elemento, *Leucaena leucocephala* presento 7.03 ppm., en el tratamiento testigo, se observa una clara disminución al agregarle el biosólido los tratamientos 2, 3 y 4 presentaron índices de insuficiencia según Brown, et al., (1987) sin embargo, también se observa un incremento proporcional del porcentaje de inclusión del mismo. Para la especie *Pithecellobium ebano* presento un nivel excesivo de este elemento (23.74, 11.06, 13.73, 29.27, 50.92 ppm), para *P. pallens* al igual que *Leucaena* presento el mismo comportamiento y solo el testigo y el tratamiento 6 presentaron concentraciones optimas (7.67, 3.20, 3.42, 0.05, 5.88 ppm).

En mucho casos conviene aplicar Hierro (Fe), desde etapas tempranas de crecimiento de plantas, aunque su demanda es mayor durante el crecimiento rápido. El exceso de este elemento se manifiesta por un bronceado de las hojas y puede inducir deficiencia de otros elementos menores. Las fuentes más comunes de Fe y diversos tipos de quelatos de Fe. De acuerdo a la literatura y a valores registrados el hierro presenta valores excesivos en *Leucaena leucocephala* teniendo como testigo 210.24 ppm. y el valor más alto es para el tratamiento 10% de biosólido con 398.22 ppm. para el resto de los valores no son proporcional de acuerdo al porcentaje de inclusión, por el contrario en *Pithecellobium ebano* el mínimo valor lo presenta el tratamiento 10% de biosólido (601.50 ppm.) y el valor del testigo es de 1527.70 ppm. estos resultados registrados como tóxicos para un buen desarrollo de la planta, para *P. pallens* son valores similares al de los de *Leucaena*, testigo 207.79 y valores máximos y mínimo los presentan las concentraciones 20% y 50% de biosólido (88.95 y 442.11 ppm.)

De acuerdo al cuadro sinóptico de Brown, et al., (1987) los valores registrados para el fósforo (P) demuestran que existe un incremento proporcional de acuerdo a la inclusión de biosólidos para la especies *Leucaena leucocephala* presentan valores aceptables y solo se observa un nivel excesivo en el tratamiento 6 (3154.62 ppm), para *Pithecellobium ebano* solo el testigo y el tratamiento 2 (2693.93 hasta 10478.52 ppm) registran valores adecuados y los demás restantes registran valores excesivos que pudieran producir toxicidad hacia las plantas y *Pithecellobium pallens* su comportamiento fue igual al de la especie anteriormente mencionada (2310.46 hasta 6524.44).

Las fuentes más comunes de fósforo que se aplican son el superfosfato simple y triple de calcio, fosfatos de amonio, fórmulas compuestas como 17-1-7-17, rocas fosfóricas, estiércoles, gallinaza y otros materiales. Los problemas del fósforo son muy complejos y además, pueden reaccionar con Fe, Zn, Cu, Mn y Ca y formar compuestos insolubles.

Las plantas deficientes de Magnesio (Mg), presentan clorosis intervenal en hojas viejas, y en casos severos las hojas jóvenes pueden desarrollar áreas necróticas. Su deficiencia se puede causar por concentraciones bajas del elemento en el suelo o por excesos de calcio o potasio y su exceso bloquea la asimilación de esos elementos. Se puede perder por lavados no muy intensos. La fuente más común de Mg es el sulfato de Mg el cual puede estar mezclado con sulfatos de potasio; y debe cuidarse su equilibrio respecto al calcio y al potasio. Los niveles óptimos son igual que para el Hierro o sea 2,000 ppm. Para *Leucaena leucocephala* este elemento presentó un valores óptimos de 2215.59 ppm. para el testigo, los demás tratamientos registraron valores por encima del testigo excepto el tratamiento 5 (40% de biosólido) el cual fue de 2043.33 ppm, aquí no existe incremento proporcional, por el contrario para *Pithecellobium ebano* se observa una clara tendencia de incremento proporcional a la inclusión de biosólidos y para los tratamientos 3, 4 y 6 valores por encima de lo óptimo que pudieran causar toxicidad a las plantas. *P. pallens* no presenta ninguna proporción y su concentración es levemente elevada su valores fluctúan entre (2325.58 del testigo hasta 3065.55 del 50% de biosólido).

Manganeso, su movilidad es baja en suelo y tejidos vegetales y participa en la síntesis de clorofila, y en los procesos de oxidación reducción en el sistema de transporte electrónico en la fotosíntesis; activa oxidasas del ácido indolacético.

Las plantas dicotiledoneas deficientes presentan clorosis intervenal en las hojas jóvenes, con venas verde pálido. La disponibilidad del Mn disminuye al aumentar el pH del suelo. El Mn reacciona con fosfatos y se fija; además se pierde por remoción por plantas, lavado y erosión. Su exceso puede ocasionar puntos café rodeados de círculos cloróticos en hojas viejas y puede originar deficiencias de otros elementos menores. Sus fuentes comunes aplicadas son el sulfato de Mn y diferentes tipos de quelatos, según la literatura consultada el valor de este elemento para un adecuado desarrollo de la planta es de 50 ppm. nuestros valores demuestran la adición del Mn brindado por el biosólido el testigo de *Leucaena leucocephala* presentó valor mínimo 6.26 ppm., en los demás tratamientos presentan valores un poco elevados en los tratamientos 3 y 6 (74.87 y 94.22 ppm.), para *Pithecellobium ebano* presentó un patrón semejante a la especie anterior el testigo volvió a presentar el valor mínimo (25.19 ppm.), y el valor máximo fue para el tratamiento 20% (91.20 ppm.), *P. pallens* registró un valor mínimo en el testigo (12.90 ppm), en los siguientes tratamientos se registró valores óptimos y el valor máximo en el tratamiento 50% (87.00 ppm).

Los síntomas de deficiencia de Molibdeno (Mo), en plantas se parecen a la falta de nitrógeno; las plantas son achaparradas, hojas inferiores cloróticas y secas. Su disponibilidad en el suelo aumenta al subir el pH. Los molibdatos son las fuentes comunes de Mo que se aplican. Su exceso generalmente no daña a las plantas, pero puede causar problemas a los rumiantes que consumen forrajes con concentraciones mayores de 5 ppm. Para *Leucaena leucocephala* el testigo presenta un valor máximo de 18.34 después se observa una clara disminución en los siguientes tratamientos (4.08, 4.14, 4.83, 3.88, 3.17 ppm), esto ocurre al igual en *Pithecellobium ebano* solo que en valores inferiores testigo presento un valor máximo de 5.93 ppm los siguientes tratamientos van de 1.09 hasta 2.70 estos no siguen un orden, *P. pallens* siguió el mismo comportamiento de las dos especies anteriores el testigo fue de 14.65 ppm, y los demás tratamientos fueron menores a este valor que van de 2.15 hasta 3.22 estos no siguen un orden pero se observa valores un poco más uniformes. El valor óptimo según Brown, et al., (1987) es de 0.1 ppm.

El potasio (K), requiere estar en equilibrio con Ca y Mg para la absorción de ellos no sea inhibida y es conveniente fraccionar su aplicación a fin de reducir los problemas de fijación y baja disponibilidad al final del ciclo, cuando más lo requieren las plantas para producir alto rendimientos y buena calidad el valor óptimo es de 10,000 ppm. En nuestros resultados observamos una excesiva cantidad de este elemento ya que todos los valores están por encima de la cantidad óptima, para el genero *Leucaena leucocephala* el testigo presenta el valor mínimo con respecto a las mezclas este de (16391.43 hasta 29441.41), lo mismo ocurre para *Pithecellobium ebano* con valores de 8407.65 hasta 19427.92 del tratamiento 30% de biosólido, para el genero *Pithecellobium pallens* el testigo con un valor de 12790.69 hasta 15977.77 ppm.).

Sodio (Na) *Leucaena leucocephala* presenta valores de 71.55 hasta 447.54 ppm, no presenta un patrón, *Pithecellobium pallens* se observan valores superiores a la especie anterior de 2223.62 hasta 10063.06 ppm, *P. pallens* presenta valores semejantes al los de *Leucaena* que van de 87.05 hasta 566 ppm, tampoco siguen un patrón.

El valor óptimo del Zinc (Zn), es de 20 ppm. nuestros resultados registran valores por encima de este nivel para *Leucaena leucocephala* de los tratamientos 20, 30 y 40% de biosólido son inferiores al testigo el cual presento un valor de 56.26 ppm., sin embargo los tratamientos 50% y 10% de biosólidos estuvieron por encima del testigo (80.20 y 177.38 ppm), *Pithecellobium ebano* por el contrario el tratamiento 10% de biosólido fue el valor mínimo con 63.66 ppm., el testigo presento 177.44 ppm., y el valor máximo fue para el tratamiento (30% de biosólido) 585.58 ppm., *P. pallens* presento valores de 30.07 ppm. hasta 59.11 ppm.

De acuerdo a la tabla 4 (EPA, 1999), la concentración de los metales pesados y demás elementos presente en el testigo, y en mezclas con biosólido se consideran no críticas para un buen desarrollo de la planta ya que están por debajo de esta concentración máxima de metales en suelos agrícolas.

De acuerdo a la tabla 4 (EPA, 1999), la concentración de los metales pesados y demás elementos presente en el testigo, y en mezclas con biosólido se consideran no críticas para un buen desarrollo de la planta ya que están por debajo de esta concentración máxima de metales en suelos agrícolas.

Menciona Webber, (1984) que existen elementos minoritarios que pueden causar toxicidad a los organismos y estos elementos son los metales pesados y que junto a estos elementos hay otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se asocia a ellos, este es el caso del As, B, Ba y Se. Según Buckman, (1966) los oligoelementos o micronutrientes son requeridos para que los organismos completen su ciclo vital, sin embargo pasando cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Se y Zn. Y de acuerdo a la EPA para la aplicación a tierra estos serían los límites As (75 mg/kg), Cu (4,300 mg/kg), Ni (420 mg/kg), Se (100 mg/kg) y Zn (7,500 mg/kg). Nuestros resultados muestran una clara aceptación ya que se registraron por debajo de las concentraciones límites de contaminantes de acuerdo a la EPA, (1999) y por debajo del límite de elementos que pueden generar una lixiviación y que hacen peligroso a un residuo por su toxicidad al ambiente ver tabla 6, según la NOM-053-ECOL-1996. El biosólido presentó una concentración de Cu de <0.024 ppm, y para el Zn un valor de 0.089 ppm. Ahora bien con respecto a los demás elementos podemos destacar lo siguiente.

Según la EPA (1999) menciona que la concentración máxima de metales pesados en suelos agrícolas es de 32 mg/K. De acuerdo a las Normas Oficiales Mexicana el Arsénico presenta una concentración máxima permitida de 5.0 ml/L. El Arsénico (As) presentó su mayor concentración excesiva de 9.83 ppm. en el testigo observándose una clara reducción a los suelos tratados con biosólidos y con un promedio de 2.454 ppm, de acuerdo a la tabla 4 el Cadmio puede presentar un valor de 20 mg/Kg y según las NOM's el límite máximo permisible es de 0.75 ml/L, el testigo registró un valor de 15.41 ppm considerándose sumamente tóxico, observándose una clara disminución proporcional a la concentración del biosólido excepto para el tratamiento 6, los suelos tratados con biosólidos registraron un promedio de 1.212 en el cual se observa el menor resultado en el tratamiento 4 (30% biosólido) el cual fue de 0.02 ppm.

La EPA menciona que su límite máximo para Cobre (Cu) es de 4,300 ppm., pero en suelos agrícolas no debe exceder 775 ppm. de Cobre, y según las NOM's el límite máximo permisible para el Cobre para la descarga de aguas residuales debe de ser de 15 ppm., nuestros resultados demuestran que el testigo presentó 392.91 ppm., y debido a la adición de biosólidos esta cantidad tendió a disminuir, sin embargo, estos valores estuvieron por encima de la NOM establecida excepto para el tratamiento 30% de biosólido.

Según la tabla 4 el límite máximo permitido para el Cromo (Cr) en suelos agrícolas es de 1540 ppm. (EPA, 1999) y según la tabla 6 las NOM's mencionan que el límite máximo permisible es de 5.0 ml/L en nuestros resultados se registró 849.16 para el testigo, mientras el valor promedio de este elemento para los tratamientos con biosólidos fue de 73.24 ppm.

El Magnesio (Mg) fue el único elemento que presentó una tendencia al incremento sin embargo, no fue proporcional, el testigo fue de 3357.08 ppm como valor mínimo y el máximo fue para el tratamiento 3 (20% de biosólidos) con un valor de 5210.11 ppm.

Manganeso (Mn), para este elemento solo el tratamiento 10% de biosólidos (225.57) fue mayor que el testigo el cual fue de 202.91 ppm. Para el Potasio (K) el valor del testigo fue de 3302.5 ppm, y se observa un leve incremento para el tratamiento 2, 3 y 4 (4190.80, 4618.67, 3840.45). Al mismo tiempo para el tratamiento 5 y 6 existe una disminución.

Sodio (Na), el valor del testigo fue de 992.50 ppm. mientras que el promedio fue de 335.3 ppm. excepto para el tratamiento 3 (20% de biosólidos) el cual presentó un valor de 788.71 ppm. Por último el Zinc (Zn) el testigo registró un valor de 3479.16 y el promedio para los tratamientos fue de 259.15 ppm, excepto para el tratamiento 5 (40% de biosólidos) el cual registró un valor de 767.36.

De acuerdo a EPA, (1999), el Zinc (Zn), presenta como valor máximo en suelos agrícolas 1500 ppm. El testigo presentó un valor de 3479.16 ppm, los demás tratamientos registran disminución de valores proporcionales al porcentaje de inclusión de biosólidos estos en concentraciones adecuadas.

En las mezclas la conductividad parámetro que indica la capacidad de transporte de iones libres que presentan carga tanto positiva como negativa dependiendo de la naturaleza del elemento, los principales nutrientes como el Fe, K, Zn, Mg, Bo, Mb, Co, Mn, Na y P, intervienen en las reacciones de fotosíntesis de las plantas y de acuerdo con Borchardt (1981), estos elementos son esenciales en el crecimiento de las especies. Los valores de conductividad obtenidos en las mezclas varían de: 54.6 - 198.0 $\mu\text{mhos/cm.}$, de forma creciente conforme aumenta la concentración de biosólido, lo cual nos indica que existe un efecto benéfico de asimilación conforme este se incrementa ya que facilita el transporte de los iones libres en el suelo, que por consiguiente influye en la composición del tejido vegetal de manera significativa.

En contra parte los resultados de la conductividad del suelo observamos que este es alto en relación a las mezclas y quizá se debe a como se indica en el punto anterior al mayor concentración de minerales con respecto al biosólido.

Potencial de hidrógeno (pH), los valores obtenidos de las mezclas fluctúan entre 8.23 - 8.81 excepto en las especies de *Leucaena leucocephala* en el tratamiento 5 y 6, lo cual indica que de acuerdo a la naturaleza del cultivo es apropiado, por lo que respecta al suelo o testigo, su valor es neutro lo cual influye benéficamente adaptándose al valor del biosólido, de acuerdo a Downy y Larson (1975) este rango de valores influye a que las bacterias metanogénicas se desarrollen y produzcan formación de gases y degradación de azúcares.

Con respecto a la carga bacteriana observamos que la contaminación proviene del biosólido, esta característica debido a la naturaleza del mismo ya que proviene de descargas de origen domestico, en las mezclas de suelo-biosólido se incrementan sus valores conforme aumenta la concentración del biosólido, existen diferentes reglamentaciones con respecto a este parámetro.

El desarrollo de la especie *Leucaena leucocephala* se observa que en el suelo agrícola sin inclusión de biosólido presenta un desarrollo de 31.6 cm, y que en concentraciones de biosólido de 10 y 20% lo superan presentado un crecimiento de 32.6 y 32.0 cm., sin embargo, en concentraciones de 30, 40 y 50% su desarrollo disminuye, esto se debe a que existe algún elemento limitante que afecta a su desarrollo, y que inclusive aunque este en exceso, en lugar de beneficiarlo lo perjudica ya que limita el ciclo vegetal.

En el genero *Pithecellobium ebano* se determino que el desarrollo de esta especie es muy restrictivo, requiere del control de condiciones como, temperatura, tipo de porosidad del suelo para un buen desarrollo, debido a que su sistema radicular es muy selectivo, en suelo agrícola el desarrollo fue de 3.4 cm. a excepción de la inclusión del tratamiento de 10% biosólido cuyo valor fue de 10.0 cm, este superior a los demás tratamientos. Este efecto como se menciona al comienzo quizá se deba a que conforme aumenta la concentración del biosólido la mezcla tiene una forma más compacta.

Para el genero *Pithecellobium pallens* su desarrollo es diferente a las especies anteriores se observa en el testigo un crecimiento de 26.76 cm., y que solo el tratamiento 30% de biosólido es el único que lo supera presentando una altura de 32.5 cm, además observamos que los tratamientos 40 y 50% de biosólido presentan un efecto negativo el cual lo asociamos a los valores del pH obtenidos los cuáles son ligeramente ácidos y no alcalinos lo cual desfavorece a su crecimiento, además se observo presencia de microorganismos parásitos.

Leucaena leucocephala presento un óptimo desarrollo en el testigo 5.20 gr. que corresponde a la biomasa, seguido del tratamiento 40% de biosólido (3.76 gr) y el resto de los tratamientos fue semejante, excepto para el tratamiento 30% de biosólido el cual presento un valor de (0.52 gr). *Pithecellobium ebano*, en diferencia a *Leucaena* el mejor crecimiento se presento en el tratamiento de 10% de biosólido (1.76 gr) seguido por el tratamiento 50% de biosólido (1.64), sin embargo, cabe mencionar que se presentaron problemas con la inclusión del biosólido. Para la especie *pallens* el testigo presento una evolución de (1.88 gr) más sin embargo, los mejores resultados los presentaron los tratamientos 10, 20 y 30% de biosólido (2.28, 2.40 y 2.64) su valor fue similar y por último los tratamientos 40 y 50% de biosólido presentaron los menores resultados con respecto al peso seco.

Con respecto a la productividad de las especies, los tratamientos presentaron algunas irregularidades por ejemplo para *Leucaena leucocephala* el mejor rendimiento por altura fue el tratamiento 2, mas sin embargo cuando se registro la altura total incluyendo la raíz se observa una clara tendencia de mas desarrollo para el tratamiento 1 que funciono como testigo, esto se debe a que la planta tuvo que desarrollar mas sus raíces para la mayor absorción de nutrientes y quizá agua.

CONCLUSIONES

Como se ha expuesto en temas anteriores. Actualmente existe una fuerte tendencia que clama por una utilización racional del suelo. Sus principios se agrupan en lo que se conoce por Conservación de Suelos. Las teorías conservacionistas persiguen obtener máximos rendimientos pero con mínima degradación.

El cuidado del suelo es esencial para la supervivencia de la raza humana. El suelo produce la mayor parte de los alimentos necesarios, fibras y madera. Y sin embargo, en muchas partes del mundo, el suelo ha quedado tan dañado por un manejo abusivo y erróneo que nunca más podrá producir bienes (FAO, 1976).

La disminución de la materia orgánica (M. O.), da por resultado suelos compactos, suelos encostrados, raíces superficiales, mayor desagüe y suelos aterronados. La M. O. del suelo puede conservarse mediante el empleo abundante de los excrementos agrícolas, de residuos orgánicos en descomposición, del abonado con hojas verdes o bien compost.

Los agricultores de todo el mundo conocen el valor de los abonados de corrales, no así la importancia del efecto residual del abonado industrial llamado "Compost". De ahí la urgente necesidad de poder planificar nuestros recursos técnicos encaminados a resolver el problema de las bajas producciones de cosechas causadas por las alteraciones en las propiedades físicas del suelo.

Al mismo tiempo se obtuvieron excelentes resultados ya que los valores más altos con respecto a la altura fueron para las plantas tratadas con mezclas de suelo-biosólido. Para *Leucaena leucocephala* el tratamiento 90% suelo - 10% biosólido presentó un crecimiento de 32.6 cm y de 32.0 cm para el tratamiento 80% suelo - 20 biosólido esto por encima del testigo (31.6 cm), para *Pithecellobium pallens* el tratamiento 70% suelo - 30% biosólido presentó el mejor resultado con un crecimiento de 32.5 cm. este por encima del testigo que fue de 26.76 cm, para el género *Pithecellobium ebano* también el mayor crecimiento se registro para el tratamiento 90% suelo - 10% biosólido aunque esta especie se considera no apta para tratarse con mezclas.

Las especies *Leucaena leucocephala* y *Pithecellobium pallens* fueron las que registraron mejor resultados estos por encima del testigo en cambio se concluye que la especie *Pithecellobium ebano* no son aptas para este tipo de tratamientos al mismo tiempo se concluye que las mezclas de suelos-biosólidos son una buena opción agrícola para algunas especies ya que estas proporcionan macro y microelementos.

Las concentraciones que dieron mejores resultados se ubicaron entre el 10% de inclusión de biosólidos hasta el tratamiento de 30% de biosólidos. Se observó también que en las concentraciones de 40 y 50% la cantidad de materia orgánica producían desagradables olores los cuales influyeron sobre insectos de la familia díptera haciéndolos atrayente y pudiéndose provocar un foco de infección.

Observamos también que el pH juega un papel importante al determinar un mejor desarrollo para las plantas ya que la mayoría de los elementos están presentes en pH ácidos excepto para As, Cu, Mo y Se, los cuales están disponibles en pH alcalinos.

La aplicación de los biosólidos en la agricultura incrementa los beneficios en los cultivos, municipios y comunidad. Los cultivos reciben beneficios de los nutrientes y materia orgánica suplementada por los biosólidos. La aplicación en suelos ofrece seguridad, costo-efectivo y alternativas ambientales manejando los residuos.

Sin embargo, se deberá tomar en cuenta que las rocas ígneas ultrabásicas presentan los más altos contenidos de metales seguidas por las ígneas básicas, las menores concentraciones se presentan en rocas ígneas ácidas y en las sedimentarias y que la textura juega un papel importante ya que los suelos arcillosos tienden a absorber los metales pesados, por el contrario los suelos arenosos carecen de esta capacidad pudiéndose ocurrir un lixiviado de estos compuestos y perjudicar mantos freáticos y/o acuíferos y/o aguas subterráneas.

Al término del presente estudio se concluye que los biosólidos generados en el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas, son aptos y pueden ser utilizados en prácticas agrícolas ya que presentan concentraciones por debajo de los niveles máximos permisibles de los parámetros establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas al mismo tiempo que aportan nutrientes para un buen desarrollo para las especies: *Leucaena leucocephala* y *Pithecellobium pallens*.

RECOMENDACIONES

Los lodos generados durante el tratamiento de aguas residuales se pueden también clasificar en función de los procesos productivos, pudiéndose presentar las siguientes alternativas:

Lodo peligroso por la presencia de contaminantes tóxicos de acuerdo a lo establecido por las Normas Oficiales Mexicanas establecidas por SEMARNAP y quizá por la Environmental Protection Agency (EPA) en sus apartados 260 y 261, mientras no exista norma nacional, que el lodo no pueda ser considerado como peligroso, porque las concentraciones de sus componentes son inferiores a los valores establecidos por la EPA en sus apartados 260 y 261. Dentro de este grupo se puede establecer subcategorías, atendiendo a criterios microbiológicos específicos y al uso que se pueda darle, como a la disposición final de los mismos.

Regulaciones acerca del Manejo de Lodos. El sistema de manejo de este tipo de residuos debe ser organizado, documentado y controlado, para lo cual se debe implementar una serie de regulaciones que definan la clasificación del lodo, valores límite para contaminantes tóxicos y lixiviados, procedimientos para la caracterización de lodos, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final, etc., que permitan realizar un manejo ambientalmente adecuado y seguro, que no cause afectaciones a la salud de la población ni al medio ambiente.

La implementación de la reglamentación, permitirá regular y controlar todas las actividades del sistema de manejo de los lodos en todas y cada una de sus etapas (desde la generación hasta la disposición final) y, sancionar a quienes incumplan con lo establecido para el efecto.

Manejo de Lodos. Para la caracterización de lodos se pueden aplicar dos procedimientos: Análisis de componentes se puede realizar a través de un balance de masa del proceso generador del lodo utilizando la información de la calidad de materia prima utilizada.

Análisis de lixiviados (TCLP), consiste en someter a una muestra de residuo a un proceso acelerado de descomposición simulando la situación más crítica que sufrirá al ser depositado en un relleno; en el lixiviado resultante se analiza los parámetros requeridos para su caracterización. Al igual que un análisis de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infecciosos (CRETIB) del lodo, para determinar el tipo al que corresponde (H. Lee, 1995 y 1998).

Dentro de los procedimientos correspondientes para su análisis deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos: Equipo utilizado para el análisis, y Normas (estas según el país) y métodos aplicados para la determinación de los componentes y características.

Prevención de la Generación de lodos. Casi todas las industrias tienen un potencial de optimización de las cantidades y calidades de los lodos generados. Por la diversidad y la estructura particular de cada una de ellas, la optimización requiere de un análisis individual.

La prevención de la generación de lodos, se puede lograr tomando medidas reguladoras que incentiven a los sectores industriales generadores a aplicar programas de producción limpia, a reciclar materiales y/o subproductos generados en el proceso o a modificar los procesos de producción que minimicen la generación de estos residuos.

Reciclaje, reuso, dependiendo de la composición y tipo de lodo, puede reciclarse para recuperar ciertos materiales presentes (de ser necesario adecuarlos según los requerimientos del proceso), utilizarse como fertilizante para mejorar suelos (en terrenos autorizados por la autoridad competente) aquellos que cumplan con características determinadas por la autoridad correspondiente, ya sea en forma cruda o después de algún tratamiento o aprovechar su contenido energético.

Los lodos orgánicos a partir de un mínimo poder calórico, pueden ser incinerados para recuperar la energía, generando electricidad o produciendo vapor (principio desecho-a-energía), pero restringiendo aquellos que no pueden ser eliminados por este procedimiento, debido a las características de sus componentes.

Tratamiento de lodos estos dependerán de las características requeridas para que cumplan totalmente con los requisitos necesarios, ya sea para su reuso, revalorización (tratando en lo posible de recuperar su valor material) y darle un uso benéfico, utilizando para esto procedimientos viables de acuerdo a las características de los lodos generados en las industrias y a la disponibilidad de tecnología, los mismos que deben ser efectivos, fáciles de aplicar y que en lo posible no impliquen elevados costos.

Disposición Final, en general, se debe considerar la disposición final como la última opción dentro de una estrategia general de manejo de lodos. La disposición dependerá del tipo de lodo. Los sitios de disposición deberán contar con sistemas técnicos de operación y diseño sencillos, con mínimos requerimientos de operación, control, supervisión y mantenimiento.

Como estrategia para conseguir estos propósitos, se deberá realizar lo siguiente: Aplicar un concepto de manejo basado principalmente en la separación de los diferentes tipos de lodos y control de las actividades de la disposición tales como: calidad de lodos aceptados que cumplan totalmente con los requisitos exigidos en el lugar de la disposición para evitar generar emisiones secundarias de subproductos (gases, agua), registro, monitoreo, análisis de lixiviados, etc.

Disponer en forma separada los lodos incompatibles o de diferente calidad, para evitar la mezcla de los diferentes contaminantes. Tener un sistema especial en las áreas de disposición para lograr drenar, colectar y tratar los lixiviados generados.

Los sitios para disposición final de lodos deben ser cuidadosamente seleccionados, diseñados técnicamente, tomando en cuenta criterios geológicos satisfactorios, hidrología, uso actual y futuro del agua subterránea, geotecnia, estabilidad de pendientes, protección de la erosión, provisión de servicios, factores socioeconómicos, etc.

Gracias a investigaciones recientes tenemos resultados que demuestran su utilización para mejorar el desarrollo de las plantas de zonas semiáridas y áridas, estos residuos se mezclarán con suelo pobres en materia orgánica, macro y microelementos, pero solo en concentraciones 10, 20 y 30%, ya que son los que brindan mejores condiciones para el desarrollo de las especies, mayor biomasa y menor porcentaje de mortandad.

Para los residuos de las empresas depuradoras de agua domestica este es un excelente empleo ya que crea una posible vendimia de los biosólidos (los cuales deberán ser de bajo costo) mejorando la calidad de suelos pobres y al mismo tiempo evita el manejo físico-químico de sus residuos disminuyendo gastos.

APENDICE

Los análisis Biológico Infeccioso para los biosólidos se determinaron de la siguiente manera:

Número más Probable de Coliformes Totales y Fecales.- Se inocularon alicuotas de la muestra, las cuales fueron diluidas en una serie de tubos de un medio de cultivo líquido conteniendo lactosa, posteriormente los tubos fueron examinados a las 24 y 48 horas después de incubación a $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Cada uno de los tubos que mostraron turbidez con producción de gas se sembraron en un medio confirmativo más selectivo. Llevándose a cabo la incubación de estos medios confirmativos hasta por 48 horas a $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ para la detección de organismos coliformes y a 44°C para organismos coliformes termotolerantes y *E. coli*. Mediante tablas estadísticas, se efectuó el cálculo del Número Más Probable (NMP) de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *E. coli*, que pudieran estar presentes en 100mL de muestra. (NMX-AA-042-1992)

Determinación de Salmonella.- Se tomaron 25g de la muestra para proceder con el medio de enriquecimiento; en el que se vigorizó a las Salmonellas en 225mL de caldo nutritivo, para posteriormente incubar a $37^{\circ}\text{C}/24\text{hrs}$. El segundo paso fue colocar a las Salmonellas en el medio de Enriquecimiento Selectivo; tomando 1mL del caldo nutritivo y depositándolo en el caldo selenito de cisteína, incubándolo a $35-37^{\circ}\text{C}/24\text{hrs}$. Enseguida se procedió con la prueba de aislamiento en medio selectivo; donde se sembró del caldo selenito a cajas con Agar Verde-Brillante, XLD y Salmonella-Shigella, incubándose a $37^{\circ}\text{C}/24\text{hrs}$. Finalmente se realizaron las pruebas bioquímicas de TSI, MIO, UREA y LIA, para confirmar los resultados en las tablas para la identificación de bacterias. (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Determinación de Shigella.- Primeramente se tomaron 25g de la muestra y se colocaron en un medio de enriquecimiento, incubándose durante 6-18hrs a 35°C , después se sembró el cultivo en placas con agar diferencial selectivo, y se incubaron a $35^{\circ}\text{C}/6-18\text{hrs}$. Posteriormente se utilizó el agar Xilosa Lisina Desoxicolato (XLD) para el aislamiento primario de *Shigella* (las colonias sospechosas son de color rojo), enseguida se incubaron durante 24hrs. a 35°C , subsiguientemente se realizaron pruebas bioquímicas para su identificación (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Determinaciones Parasitológicas.- Se utilizó la combinación de los principios del método difásico y del método de flotación, obteniendo un rendimiento de un 90%, a partir de muestras artificiales contaminadas con huevos de helminto de *Ascaris*; todo esto de acuerdo con la NOM-001-ECOL-1996..

Pruebas de laboratorio para el grupo de Bacterias Coliformes Muestreo.- Para las pruebas bacteriológicas solamente pueden usarse muestras instantáneas. Como la prueba de coliformes se aplica ordinariamente a muestras de aguas negras cloradas, los frascos para muestras deben contener tiosulfato de sodio para destruir el cloro residual en el momento de muestreo. Todas las muestras deben examinarse tan pronto como sea posible, después de haberse recolectado a continuación se describe el equipo necesario y la metodología.

Equipo balanza que aproxime a 0.1 gramos; esterilizador de autoclave; estufa esterilizadora; incubador con control automático de temperatura; pipetas bacteriológicas de 1.1 ml de capacidad, graduadas en 1.0 y 1.1 ml; tubos de cultivo de 150 mm X 18 mm y de 75 mm X 12 mm; medidor de pH o colorímetro para pH; frascos de cristal o de polietileno resistente a altas temperaturas, para el muestreo; vasos de vidrio de 1 a 2 litros de capacidad (1 a 2 cuartos de galón); probetas graduadas de 10, 50, 100, 500 y 1,000 ml.

Reactivos y auxiliares, caldo deshidratado de extracto de carne lactosado; caldo deshidratado de bilis con verde brillante; tapones de algodón o de poliuretano para los tubos de cultivo; fosfato monopotásico (KH_2PO_4); hidróxido de sodio (NaOH); tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$); agua destilada.

Preparación de los frascos para muestras y de las pipetas antes de la esterilización, viértase en cada frasco 0.1 ml de solución de tiosulfato de sodio al 10 por ciento. Si el frasco tiene tapón esmerilado, insértese un trozo de cinta entre el tapón y su asiento, para evitar que se pegue durante la esterilización. Cúbrase el tapón o la tapa con papel ordinario o metálico resistente y átese fuertemente con una cuerda. Esterilícense los frascos y las pipetas colocándolas en una estufa a 170°C durante una hora. Si el frasco es de plástico, déjese la tapa ligeramente floja para evitar que se rompa el frasco durante el calentamiento. Esterilícense en autoclave durante 15 minutos a 1 kg de presión (15 lbs), o sea a 121°C . Déjese enfriar el esterilizador antes de abrirlo. Apriétese las tapas de los frascos de plástico.

Preparación de la solución de tiosulfato de sodio al 10 por ciento, pésese 10.0 gramos de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) y disuélvase en 100 ml de agua destilada.

Preparación de los tubos de fermentación con caldo lactosado para la prueba presuntiva y caldo con bilis y verde brillante para la prueba confirmada. Pésese la cantidad suficiente de medio deshidratado para hacer un litro de caldo, siguiendo las instrucciones que figuran en la etiqueta puesta por el fabricante. Agréguese el polvo a un litro de agua destilada y agítase hasta que el medio esté completamente disuelto. Preparar cada tubo de fermentación colocando un tubo invertido de 75 mm X 12 mm, dentro de otro de 150 mm X 18 mm y agréguese 10 ml de caldo. Insértese los tapones de algodón o poliuretano y colóquense los tubos boca arriba en una canasta. Esterilícense los tubos calentándolos en autoclave durante 15 minutos exactamente, contado desde que la presión haya subido a 1 kg ó 15 lbs (121°C). Déjese enfriar el autoclave hasta la temperatura ambiente antes de abrirlo. Si no se hace esto muchos de los tubos de fermentación se inutilizarán por no llenarse completamente el tubo interior con el medio. El tiempo total que transcurra durante el calentamiento, la esterilización y el enfriamiento, no debe exceder de 40 minutos. Compruébese el pH del medio terminado; que debe ser de 7.2.

Preparación de los diluyentes, prepárese el agua de dilución agregando 1.25 mL de amortiguador patrón de fosfato a 1 litro de agua destilada. Amortiguador patrón de fosfato: Disuélvase 17.0 gramos de fosfato monopotásico (KH_2PO_4) en 250 ml de agua destilada. Ajústese el pH a 7.2 agregando lentamente y con constante agitación, una solución de hidróxido de sodio (NaOH) que contenga 40.0 gramos de NaOH por litro. El ajuste del pH se puede hacer más fácilmente con un medidor de pH a intervalos, después de la adición de pequeñas porciones de la solución de hidróxido de sodio. Ajústese a un volumen final de 500 mL.

Prepárense los diluyentes amortiguados en tubos de cultivo de 150 mm X 18 mm, agregando lo suficiente para que queden 9 mL en cada tubo después de la esterilización. (Esto desde determinarse por tanteos.) Tápense los tubos con tapones de algodón o poliuretano y esterilicéense la autoclave durante 15 minutos a 1 kg ó 15 libras de presión (121 °C).

Prueba Presuntiva para el Grupo Coliforme.- Agréguese 1 mL de la muestra, bien agitada, a una porción de 9 ml de diluyente amortiguado, usando una pipeta estéril de 1 mL. Mézclase bien agitando el tubo, teniendo cuidado de no mojar el tapón. Márquese 1/10 usando un lápiz de cera especial para marcar.

Agréguese 1 mL de muestra a cada uno de tres tubos de fermentación con caldo lactosado. No es necesario agitar el tubo para mezclarlo. Márquese los tubos como 1-1, 1-2 y 1-3 respectivamente.

Usando la dilución marcada con 1/10 como muestra, agréguese a cada uno de tres tubos con caldo lactosado, porciones de 1 ml, marcándolos 1/10-1, 1/10-2 y 1/10-3 respectivamente. Continúese la serie, según se ha indicado, preparando primero la dilución subsiguiente y después los tubos de fermentación para una dilución determinada. En principio, la serie se continúa hasta que la dilución final rinda resultados completamente negativos en tres tubos. Para muestras que no sean conocidas por el técnico, es conveniente llevar la serie hasta la dilución de un millonésimo. Colóquense los tubos de fermentación inoculados en un incubador a 35 °C, $\pm 0.5^\circ$, durante 24 horas ± 2 horas. Deséchense los tubos de las diluciones de la muestra.

Al terminar el período de incubación, anótense en la tarjeta de registro las observaciones particulares de cada tubo de fermentación.

Si no se nota ningún gas en la parte superior del tubo interior, anótense un cero (0) en el espacio previsto. Si hay cualquier cantidad de gas, así sea una pequeña burbuja, regístrese este hecho marcando un signo positivo (+). Sígase la prueba confirmada sobre todos los tubos que muestren gas marcándolos con (\checkmark) para indicar este hecho, después del signo más; quedando así: + \checkmark . Colóquense los tubos que no mostraron gas nuevamente en el incubador durante un período adicional de 24 horas. El tiempo total de incubación para estos tubos será entonces de 48 horas ± 3 horas, y nuevamente obsérvese y regístrese la presencia o ausencia de gases.

ANÁLISIS REALIZADOS EN EL SUELO:

Evaluación de la humedad.- Para la humedad se pesó con exactitud una base de caja petri, previamente secada a 110 °C durante 24 hrs., posteriormente se añadieron 10g de la muestra a la caja, repitiéndose el proceso de secado a 110 °C hasta lograr un peso constante durante 24 hrs., inmediatamente sacamos la caja y la dejamos enfriar en un desecador por 30 min., se pesó nuevamente. Finalmente calculamos el contenido de humedad con base a la diferencia de pesos entre la muestra húmeda y seca, expresando el resultado en porcentaje (%) (NMX-AA-16-1984).

Capacidad de retención de agua.- Se utilizaron tubos de percolación, después fueron llenados con las mezclas (suelo-biosólido) hasta las 2/3 partes de la longitud del tubo; posteriormente el tubo fue sujetado a un soporte universal procurando una posición vertical, colocándosele un papel filtro sobre la última capa de suelo para añadir aproximadamente 10 mL. de agua destilada. Finalmente se dejó en reposo para permitir el drene del agua por espacio de 24 horas, al cabo de las cuales se marcó el límite hasta donde llegó el agua. Posteriormente se tomó esta porción húmeda y se determinó la humedad de igual forma que en el inciso anterior. (Carmona, 1989).

Determinación de pH, o Concentración de Iones Hidrógeno.- Las muestras de lodos se agitaron lo menos posible, pues el pH depende en gran parte del contenido de gases disueltos. Se vertieron cuidadosamente unos 25 mL. de lodos en la probeta graduada y agregándose agua destilada hasta completar un volumen de 150 mL., se mezcló suavemente, se dejó asentar y se determinó el pH del licor claro. Los resultados se expresan como valor del pH. (NMX-AA-25-1984).

Determinación de la conductividad eléctrica.- Se preparó una pasta saturada de suelo, con la adición de agua destilada. Enseguida se procedió a filtrar a través de un filtro y con por una bomba de vacío, obteniéndose el extracto de saturación, al cual se le determinó la Conductividad Eléctrica. (Carmona, 1989) y (NMX-AA-45-1981).

Determinación de la materia orgánica.- Se trituro la muestra en un mortero, hasta obtener una consistencia similar al talco. Entonces se pesaron 0.1 gr. de la muestra y se transfirieron a un matraz Erlenmeyer de 250 mL. o mayor; enseguida se añadieron 10 mL de dicromato de potasio y 20mL de ácido sulfúrico, se agitó energéticamente por 1min., luego se dejó reposar por 30 min. terminado dicho tiempo, se agregaron 100 mL. de agua y después 10 mL. de ácido fosfórico, así como 0.5 mL. de difenilamina. Finalmente se tituló con sulfato ferroso 0.5N hasta obtener un vire de violeta obscuro a verde. (NMX-AA-21-1985).

$$\text{CALCULOS: Materia orgánica en \%} = \frac{(V_1N_1 - VNF)K}{P}$$

Donde:

V_1 = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en la muestra en mL.

N_1 = Normalidad de la solución de dicromato de potasio.

V = Volumen de solución del sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra.

N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso.

P = Peso de la muestra en gramos.

$$K = 0.69 = 0.003 \quad 1.72 \times \frac{100}{0.74}; \text{ donde:}$$

0.003= Miliequivalente del carbono.

0.74= Factor de recuperación.

1.72= Factor para convertir el % de carbono en % de materia orgánica.

F = Factor de correlación y se obtiene por la siguiente fórmula: V_0/V_B

V_0 = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en el blanco en mL.

V_B = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco en mL.

Determinación del nitrógeno.- Se tomaron 50 mg de cada muestra colocándolas en los tubos de digestión para ser digeridas en presencia de ácido sulfúrico concentrado, sulfato de potasio y sulfato cúprico como catalizador, hasta el desprendimiento de humos blancos y hasta que la solución fue transparente e incolora de un tono amarillo paja. El residuo fue transferido, diluido y llevado a condiciones alcalinas en el Destilador Kjeltec system Mod. 1026 para la determinación del amonio. Finalmente el amonio destilado fue cuantificado volumétricamente. (NMX-AA-24-1984)

$$\text{CALCULOS: } N_T \text{ en \%} = \frac{(AN_1 - BN_2) \times 0.014 \times 100}{M}$$

Donde:

A = Volumen de la solución de ácido sulfúrico empleado en la recolección del NH_3 destilado.

N_1 = Normalidad del ácido sulfúrico.

B = Volumen de la solución de hidróxido de sodio empleado en la neutralización de la solución de ácido sulfúrico.

N_2 = Normalidad de la solución del hidróxido de sodio 0.1N.

M = Masa de la muestra en gr.

0.014= Miliequivalente del nitrógeno.

100= Para relacionar el nitrógeno por ciento.

Evaluación del contenido de potasio.- Dicho elemento fue determinado por Espectrofotometría de Emisión de Plasma, siguiendo el mismo método que para metales pesados. (EPA, 200.7)

Determinación del fósforo total.- Se determinó por el método de velasco (1983), el cual, se basa en disolver y transformar los compuestos fosforados a ortofosfatos, los cuales se hacen reaccionar formando un complejo coloreado (azul), cuya densidad de color se mide fotométricamente.

Preparación de la solución de fósforo.- Se pesaron 2.5 g de suelo previamente secado al aire y cribado a través de un tamiz, posteriormente se colocó en un frasco de agitación donde se añadieron 50 mL de la solución extractora y aproximadamente 5 g de carbón Durco G-60. Agitamos la mezcla por 30 min. en un agitador mecánico, y luego se filtró.

Desarrollo del color.- de dicho filtrado se tomaron 20 mL colocándolos en un matraz de 100 mL, añadiendo de 3 a 4 gotas del indicador paranitrofenol, con el cual se obtuvo una coloración amarilla. Inmediatamente después añadimos HCL 1:1, hasta que la solución se torno incolora, después adicionamos agua destilada hasta un volumen de 80 mL y agitamos. Enseguida agregamos 10 mL del reactivo molibdato de amonio y mezclamos, para luego aforar a 100 mL y añadir una gota del cloruro estañoso, donde se observó la coloración azul, cuya intensidad representa la concentración de fósforo.

Medición Fotométrica.- Transcurridos los 10 minutos, se transfirió la solución patrón conteniendo 5 ppm de P_2O_5 y la muestra de las celdas. Se ajustó el espectrofotómetro a la lectura cero de absorbencia con la solución patrón de 5 ppm de P_2O_5 y una longitud de onda de 600 nm.

Curva de calibración, de la solución patrón de 50 ppm de P se midieron alicuotas como se indica en la Tabla 7, se transfirieron a matraces de 100 mL y se añadieron 20 mL de la solución extractora, prosiguiéndose como se indica en el inciso de desarrollo de color, hasta la medición fotométrica inclusive. Se elaboró una gráfica tomando como ordenadas las lecturas de las absorbancias y como abscisas las concentraciones de fósforo.

Evaluación de metales pesados.- (Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, B, Cd, Cr, Pb, Ni). Este método se basa en la medición de la cantidad de luz emitida por el elemento cuando es excitado en un plasma de argón y la cantidad de radiación emitida es directamente proporcional a la cantidad del elemento presente en la muestra. El procedimiento de dicho método, se seguirá de acuerdo al método 200.7 de la EPA, utilizando digestiones de las muestras en el Horno de Microondas MDS-2000 diluidas y analizadas con el espectrofotómetro de emisión Simultánea de Plasma Jarrell Ash PolyScan 61E para Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, B, Cd, Cr, Pb, Ni y en el Secuencial para P y K. Para la determinación de Hg, se utilizó el método Espectrofotométrico de Absorción Atómica con generación de Hidruros (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Prueba del Oxígeno Disuelto.- Se requiere de un equipo especial para recolectar las muestras para esta prueba. Las muestras deben tomarse de tal manera que el frasco quede completamente lleno de líquido que no haya estado en contacto con el aire a que no quede ninguna burbuja de aire bajo el tapón.

Equipo muestreador de oxígeno disuelto; frascos para muestras de 300 mL con tapón esmerilado; tres pipetas de 5 mL, graduadas en 0.1 mL; probeta graduada; matraz Erlenmeyer de 500 mL; bureta; soporte para bureta; pinzas para bureta; ácido sulfúrico concentrado; soluciones normales de nitrato-yoduro alcalina y de sulfato manganoso; frasco gotero de 30 mL; solución indicadora de almidón; tiosulfato de sodio N/40; termómetro.

Procedimiento para muestras de frascos de 300 mL.

1. Viértanse 2 ml de solución de sulfato manganoso y 2 mL de solución alcalina de nitrato-yoduro. Agítase durante 20 segundos por inversión del frasco.
2. Déjense que se asiente el precipitado por debajo del cuello del frasco; agréguese 2 mL de ácido sulfúrico concentrado y agítase.
3. Mídase 200 mL, pásense al matraz Erlenmeyer, procurando que sean mínimas las pérdidas de yodo.
4. Valórese el yodo liberado con tiosulfato N/40, hasta que la muestra tenga color amarillo pálido; agréguese un mL de solución de almidón y continúese la valoración cuidadosamente hasta la decoloración sin tomar en cuenta ninguna reaparición de color.

Los resultados se expresan en ppm de oxígeno disuelto o en porcentaje de saturación. Si se emplea un tiosulfato exactamente N/40 para valorar 200 mL de muestra, el número de mililitros del tiosulfato empleado es equivalente a las ppm de oxígeno disuelto. El porcentaje de saturación se calcula dividiendo el oxígeno disuelto de la muestra en ppm entre el oxígeno disuelto en ppm en agua limpia o agua de mar de salinidad adecuada, saturada a la temperatura de la muestra y multiplicando por 100.

Prueba de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).- Muestreo. Las muestras deben recogerse como en la prueba del oxígeno disuelto, cuando no se requiera diluir las muestras. Pueden usarse muestras instantáneas de aguas negras crudas o tratadas, pero son más representativas de la composición media, las muestras integradas. Esta prueba no puede hacerse sobre efluentes clorados.

Equipo dispositivo para muestreo o cucharón de aluminio; frascos claros de cristal, con tapón esmerilado, de 300 mL; dos pipetas de 5 mL, graduadas en 0.1 mL; tres pipetas de 1 mL, graduadas en 0.1 mL; probeta graduada de 250 mL; matraz Erlenmeyer de 500 mL; bureta; soporte para bureta, pinzas; frasco gotero de 30 mL; termómetro, frasco de 20 Lts. (5 galones); bomba de vacío para filtración; pipetas para transferir, de 5, 10, 20, 50 y 100 mL; balanza analítica; baño de agua a 20°C; sifón de vidrio; tubo de hule; pinza para tubo de hule.

Reactivo para la mayoría de los laboratorios de plantas de tratamiento probablemente es aconsejable la compra de los reactivos. Todos se pueden adquirir en las casas proveedoras comerciales. Tendrá que prepararse el reactivo de tiosulfato N/40 por dilución de la solución N/10, así como el agua de dilución que se use en esta prueba.

- a) Acido sulfúrico concentrado.
- b) Sulfato manganoso; 480 gramos de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, ó 400 gramos de $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ por litro.
- c) Alcalina de nitruro-yoduro; 500 gramos de NaOH y 135 gramos de NaCl se disuelven por separado y se mezclan para ajustarse a un litro. Justamente antes de usarse, se disuelve un gramo de NaN_3 en 100 ml de la solución alcalina de nitruro-yoduro es estable solamente durante dos semanas.
- d) Tiosulfato de sodio N/40. Dilúyase un volumen de N/10 con tres volúmenes de agua destilada, para hacer tiosulfato de sodio N/40, el cual es estable solamente durante unas dos semanas y debe usarse recientemente preparado o revelarse.
- e) Indicador de almidón, de cinco gramos por litro; se preserva con 1.25 gr. de ácido salicílico.
- f) Cloruro férrico; 0.25 gr. de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ por litro.
- g) Cloruro de calcio; 27.5 gr. de CaCl_2 por litro.
- h) Sulfato de magnesio; 22.5 gr. de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ por litro.
- i) Amortiguador de fosfato de amonio. Disuélvanse 8.5 gr. de KH_2PO_4 , 21.75 gr. de K_2HPO_4 , 33.4 gr. de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 1.7 gr. de NH_4Cl en unos 500 mL de agua destilada y dilúyase a un litro. El pH de esta solución amortiguadora debe ser de 7.2 sin ulterior ajuste.

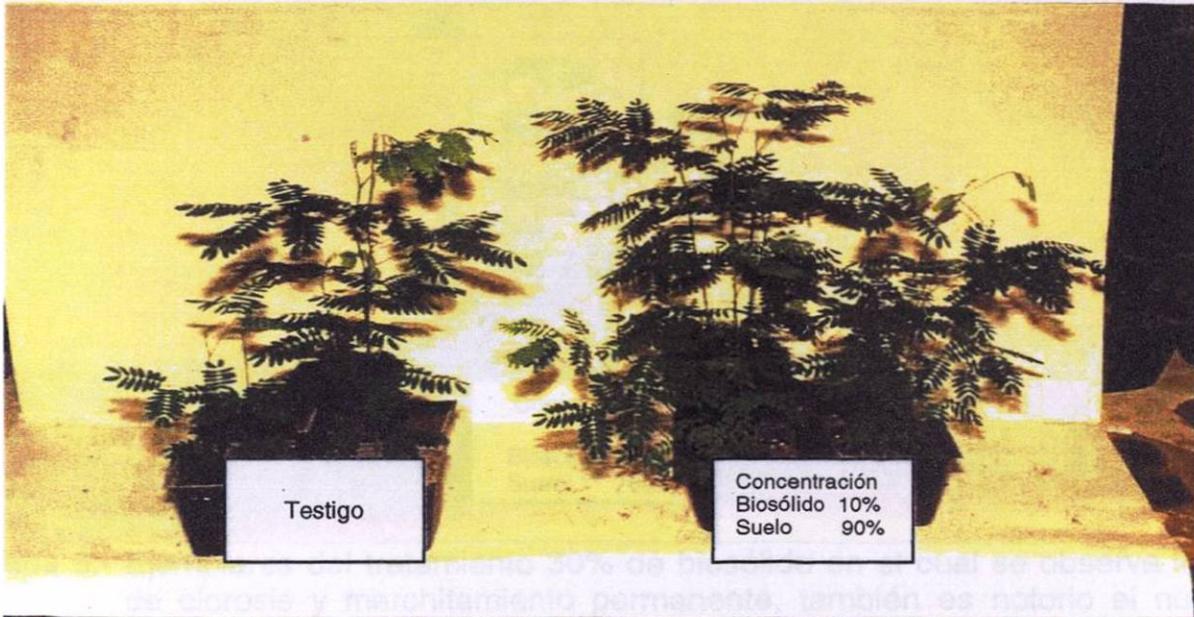
Procedimiento

1. Aerear 20 litros (5 galones) de agua destilada.
2. Agregar 18.9 mL de solución de cloruro férrico, 18.9 mL de solución de cloruro de calcio, 18.9 mL de solución de sulfato de magnesio y 18.9 mL de solución amortiguadora de fosfato de amonio (pH 7.2) al agua de dilución, y mézclase bien.
3. Sifonear agua de dilución a un frasco de 300 mL de tapón esmerilado, hasta que quede lleno aproximadamente a la mitad.
4. Al frasco lleno hasta la mitad agréguese con una pipeta la cantidad de muestra deseada. Las cantidades podrían ser: Aguas negras crudas, 3.0 a 6.0 mL., Aguas negras sedimentadas, 6.0 a 12 mL. y efluente final, 50 a 100 mL.
5. Llenar el frasco hasta el cuello, con el agua de dilución y tápese de manera que no atrapadas burbujas de aire.
6. Llenar otro frasco de 300 mL con agua de dilución solamente.
7. Colóquense ambos frascos en un baño de agua a 20°C o en un incubador.
8. Determinar el oxígeno disuelto de las aguas negras crudas o sedimentadas puede considerarse como igual a cero.
9. Después de cinco días determínese el oxígeno disuelto en cada una de las muestras incubadas, por el procedimiento descrito al principio.
10. Determinar el volumen exacto de cada uno de los frascos de 300 mL.

Optimización de mezclas de biosólidos en ensayos de germinación y evaluación del patrón de comportamiento de tres géneros de la familia LEGUMINOSAE (*Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium ebano* y *Pithecellobium pallens*)

FOTOGRAFIAS

Género: *Leucaena leucocephala*



Fotografía 1.- Comparación del testigo contra el tratamiento 10 % de biosólido el cual obtuvo mejores resultados (testigo 31.6 cm., 10% de biosólido 32.6 cm.)

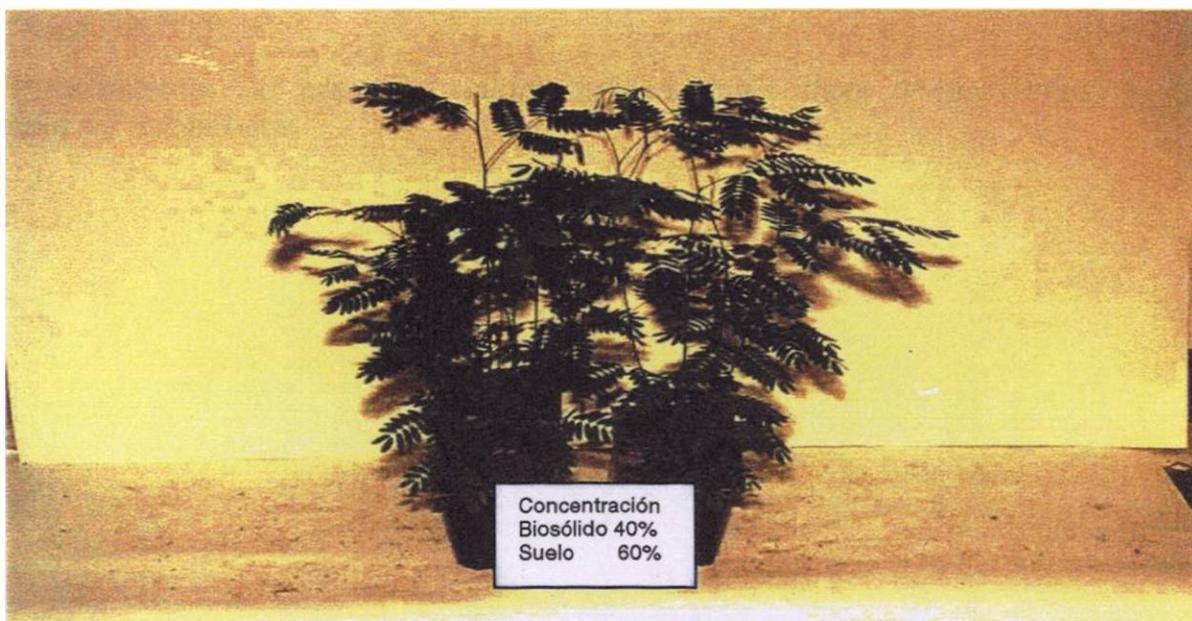


Fotografía 2.- Ejemplares del tratamiento 20% de biosólido los cuales muestran un buen crecimiento (32 cm de altura este por encima del testigo).

Optimización de mezclas de biosólidos en ensayos de germinación y evaluación del patrón de comportamiento de tres géneros de la familia LEGUMINOSAE (*Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium ebano* y *Pithecellobium pallens*)

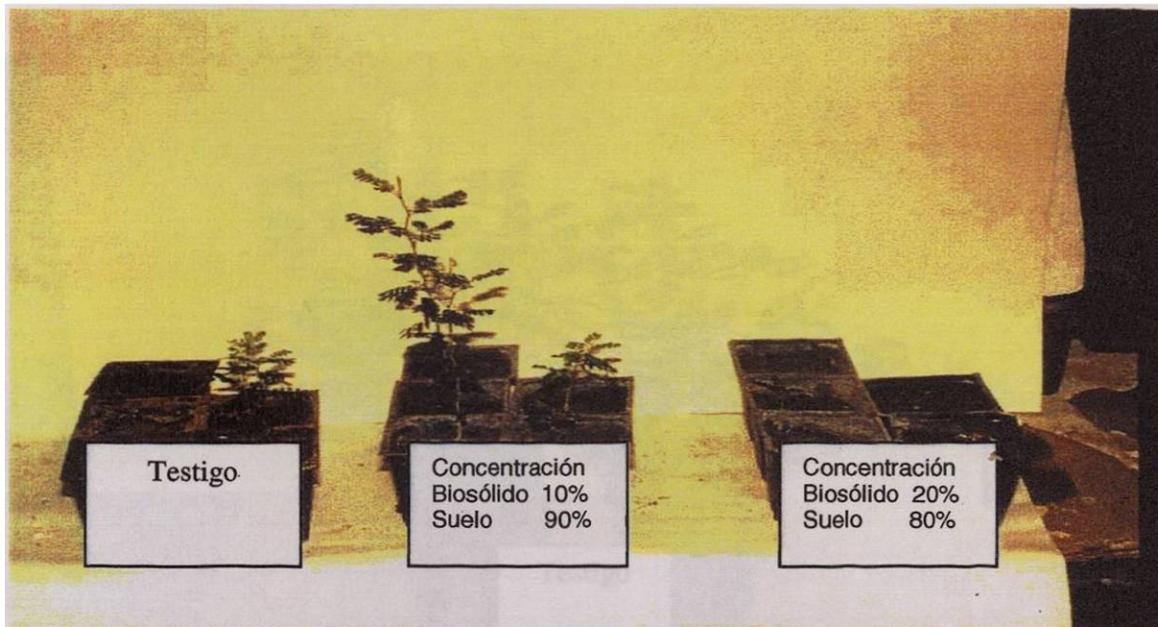


Fotografía 3.- Ejemplares del tratamiento 30% de biosólido en el cual se observa inicios de clorosis y marchitamiento permanente, también es notorio el número menor de individuos. (9.8 cm.)



Fotografía 4.- Ejemplares del tratamiento 40% biosólido (25.5 cm.)

Género: *Pithecellobium ebano*



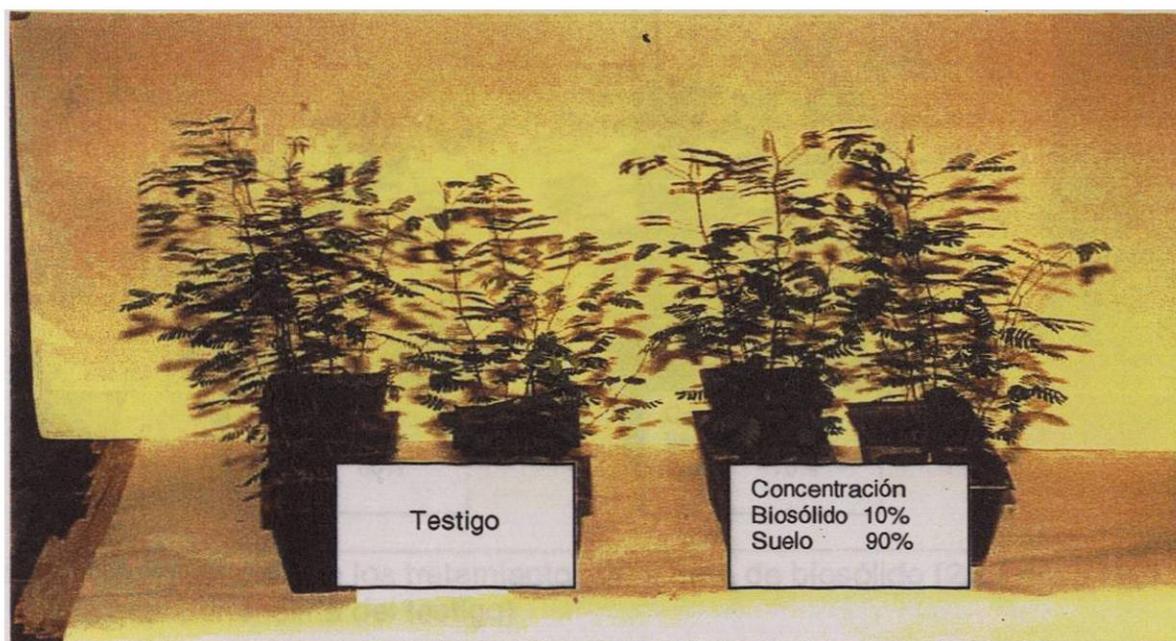
Fotografía 5.- Comparaciones de los tres primeros tratamientos en la que es obvio que el tratamiento 10 % de biosólido es el más desarrollado con 10 cm. de altura.

Nota: Este especie no presenta características aptas para desarrollarse en suelos mezclados con biosólidos.

Género: *Pithecellobium pallens*



Fotografía 6.- Testigo el cual presento un desarrollo normal (26.76 cm.)

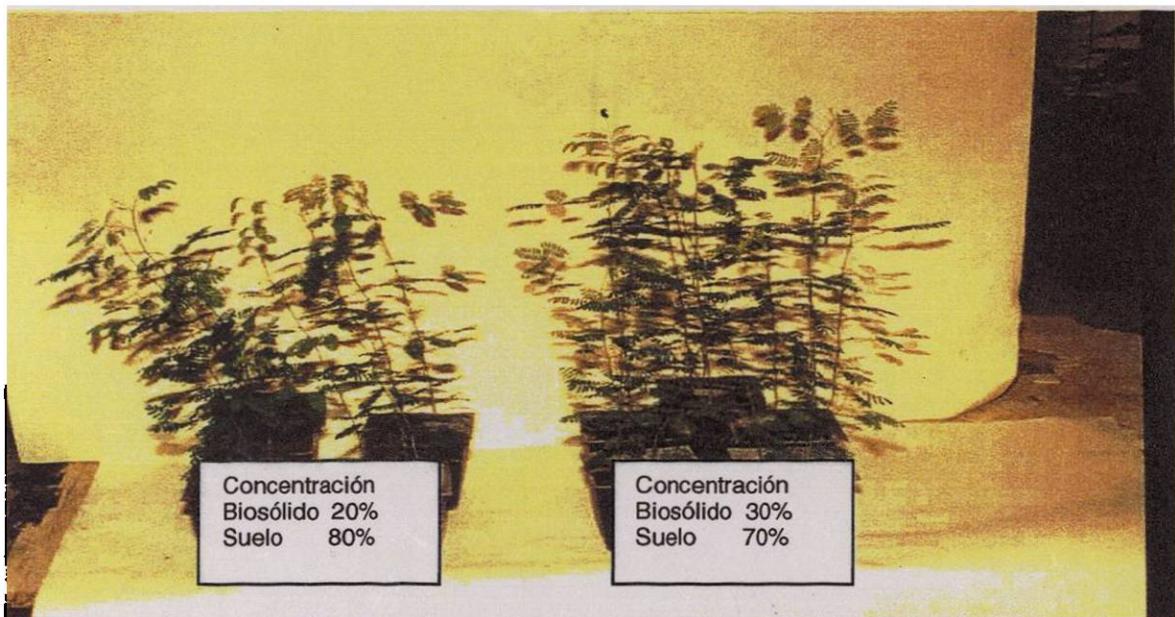


Fotografía 7.- Comparación de los tratamientos testigo Vs. 10% de biosólido (27.76 cm y 26.1 cm.)

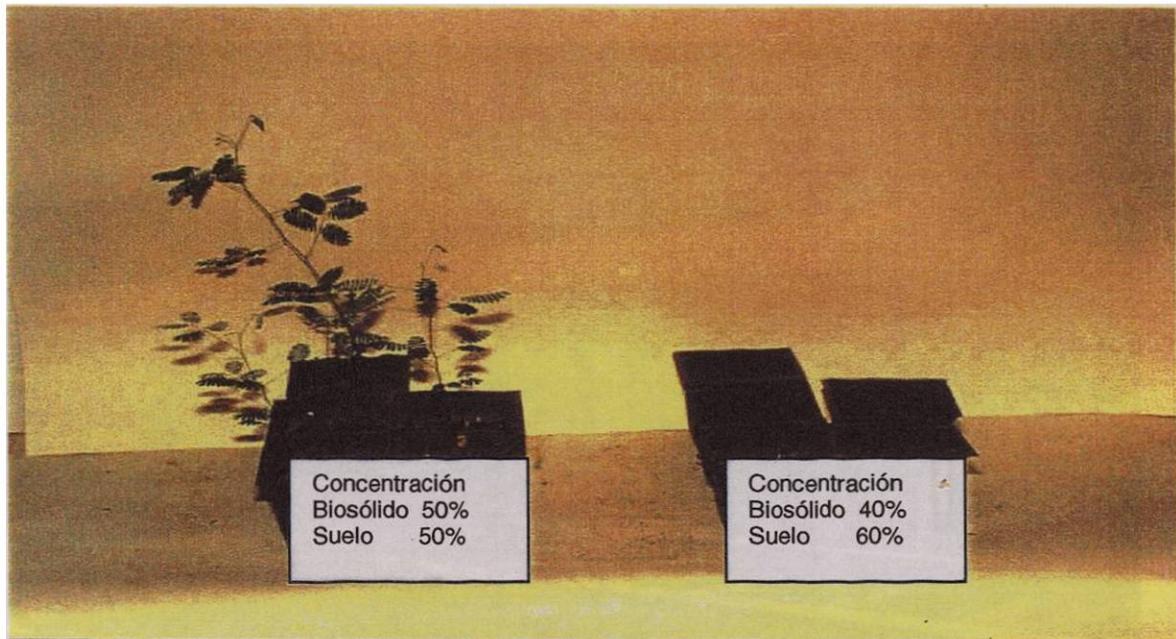
Optimización de mezclas de biosólidos en ensayos de germinación y evaluación del patrón de comportamiento de tres géneros de la familia LEGUMINOSAE (*Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium ebano* y *Pithecellobium pallens*)



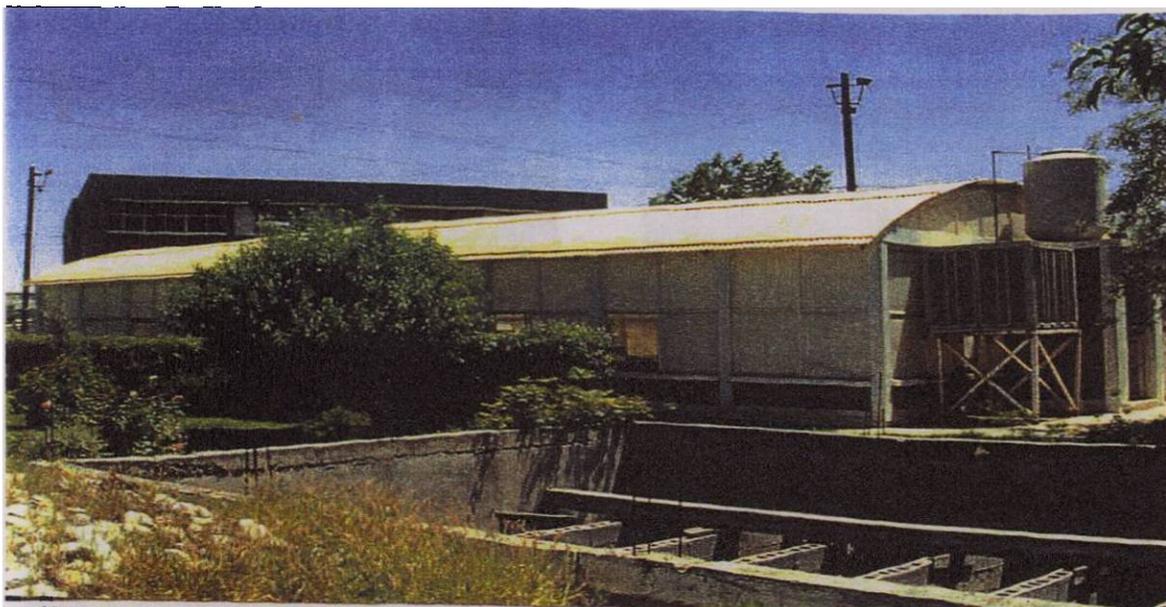
Fotografía 8.- Comparación de los tratamientos 10 y 20% de biosólido (26.1 cm y 25.3 cm.)



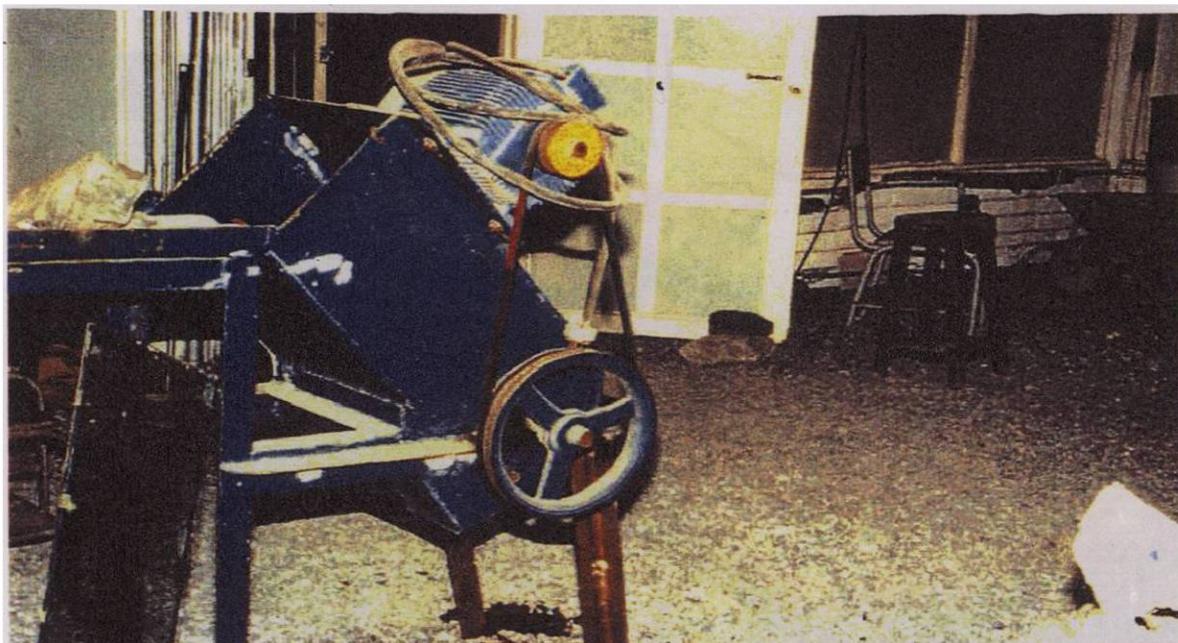
Fotografía 9.- Comparación de los tratamientos 20 y 30% de biosólido (25.3 cm y 32.5 cm este por encima del testigo)



Fotografía 10.- Comparación de los tratamientos 50 y 40% de biosólido, el primero de ellos muestra una clara tendencia de marchitamiento, clorosis y un deficiente desarrollo (12.4 cm), mientras que el tratamiento 40% de biosólido no se desarrollo planta alguna.



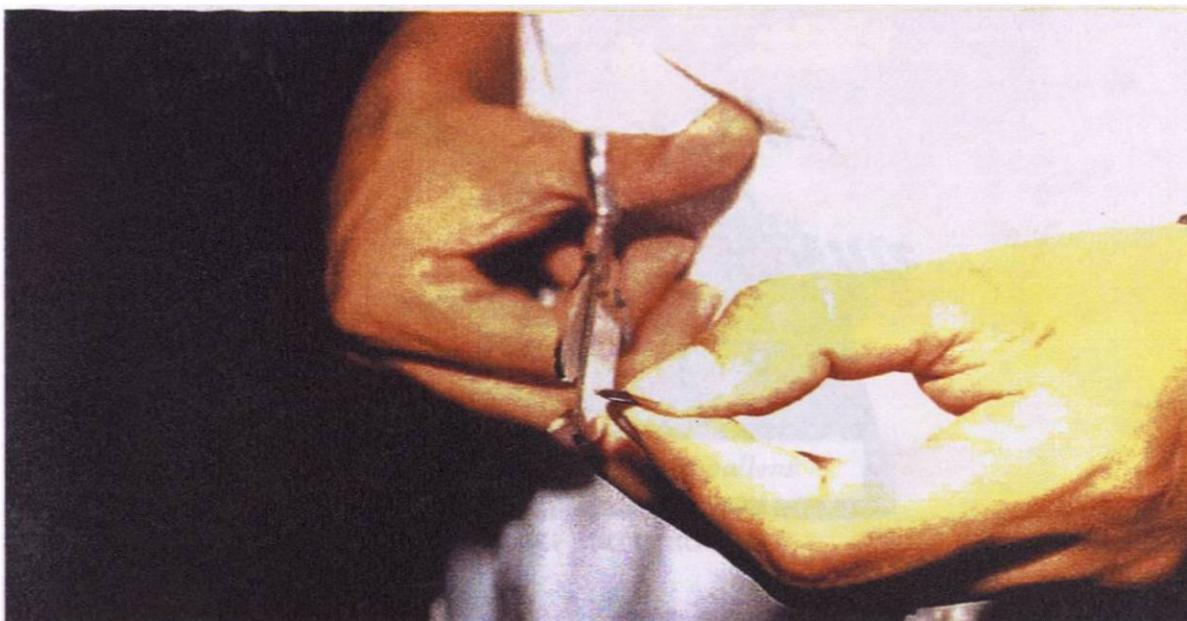
Fotografía 11.- Invernadero ubicado en la F. C. B. unidad "B" donde se estudiaron los aspectos de crecimiento brindándoles a las plantas iguales condiciones de temperatura, humedad y luz.



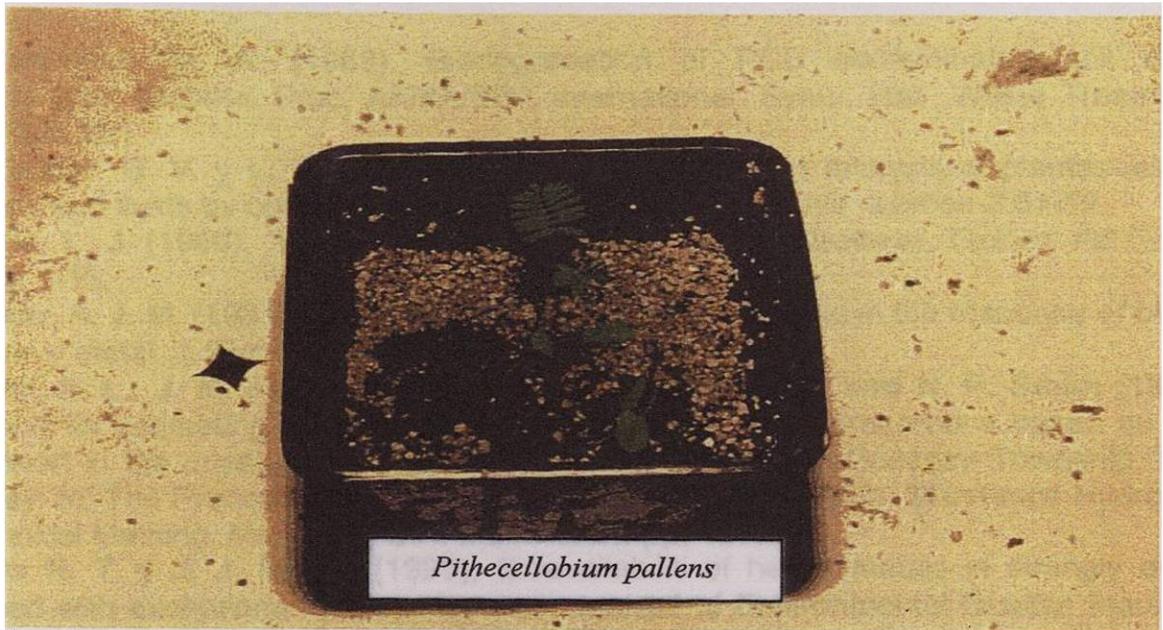
Fotografía 12.- Molino con el cual se trituraron los lodos para obtener así una textura homogénea.



Fotografías 13 y 14.- Representación de mezclas de suelo-biosólido.



Fotografía 15.- Método físico para romper la dormancia.



Fotografía 16.- Primera semana después del sembrado.



Fotografía 17.- Cuarta semana después del sembrado.

Fotografías tomadas por la Dra. Leticia A. Háuad M. y el Fotografo J. L. Jivaja

LITERATURA CONSULTADA

1. **Abramowicz, D. A. (1989)**. Biodegradation of PCB contaminated soil using recombinant bacteria. Proc. A&MA/EPA International. Symp. Haz. Waste Treatment. Cincinnati, OH.
2. **Alexander, G. V. y L. T. McAnulty (1983)**, Multielement analysis of plant-related tissues and fluids by optical emission spectrometry, *J. of plants nutrition* 3:51-59.
3. **Audus, L. J. (1960)**, Herbicides and the soil, *J. agric. Blackwell, Oxford, Fd Chem.* No. p: 1-19.
4. **Backer, A. J. M. (1981)**; Accumulators and excluder-strategic in the response of plants to heavy metal. *J. Plants Nutr.* 3:643-654.
5. **Baehr, A. L., J. M. Fischer, M. A. Lahvis, R. J. Backer, and N. P. Smith (1981)**. Method for estimating rates of microbial degradation of hydrocarbons based on gas transport in the unsaturated zone at a gasoline-spill site in Gallogay Township, New Jersey. In: The Proceeding of the U.S. Geological Survey Toxic. Substance Hydrology Technical Meeting, Monterey, C.A. March 1991. pp: 129-141.
6. **Basta N. T. y J, J, Sloan; (1999)**, Bioavailabiliti of heavy metals in strongly acidic treated with exceptional quality biosolids, *Journal of Environmental Quality*; Madison; Mar/Apr.
7. **Bhamidimarri, S. M. R., D. R., D. Catt, and C. Mercer, (1990)**. Semi-continuous biotreatment. Of a landfill leachate containing phenoxy herbicide chemical. CHEMECA 90. Processing Pacific Resources. 18th. Atralsian Chemical Engineering Conference, Auckland, New Zealand, vol. li, pp. 1039-1044.
8. **Bhanda, I. S. and C. P. Malick. (1988)**, Potassium estimation, uptake, and its role in the physiology and metabolism of flowering plants. *International Review of Cytology* 110:605-632.
9. **Borchardt, J. A., W. J. Redman, G. E. Jonhs, R. T. Sprague. (1981)**, Sludge and its Ultimate Disposal. Ann. Arbor. Science Publishers Inc.
10. **Boswell, F. C. (1975)**. Municipal Sewage Sludge and Selected Element Applications to Soil: Effect on Soils Fescue. *J. Envimment, qual. Vol. 4, No. 2* No. p: 267-273.
11. **Brewbaker, J. L. (1985)**, Revision of the genus *Leucaena* (Mimosooidae: Leguminosae). *Leucaena Research Report (6)* No. p: 78-80.
12. **Brown, P. H., R. M. Welch, and E. E. Cary (1987)**. Nickel: A micronutrient esencial for higher plants, *Plant Physiology* 85:801-803.
13. **Buckman Harry O. y Brady Nyle C. (1966)**, Naturaleza y propiedades de los suelos, Unión topográfica Hispano Americana, No. p: 1-42.
14. **Carmona Ruíz, G. (1989)**, Manual de Hidrología y Pedología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. No. p: 35-37.
15. **Comisión Nacional del Agua (1991)**, Ley federal de derecho en Materia de agua, México.
16. **Cronquist Arthur. (1986)**, Botánica Básica, Segunda edición, Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. No. P: 459 - 474.

17. Day, S. M. (1990). Federal regulations and policies hold the <<veto power>> over commercialization of biotreatment an industry perspectiva. Hazarduos Materials Management, HAZMACON go, Anaheim, C.A.
18. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, Albany, (1994), Manual de Tratamiento de Aguas LIMUSA NORIEGA, No. p: 71-76 .
19. Donald, C. M. and J. A. Prescott, (1975), Trace elements in Australian crop and pasture production, 1924-1974. Pages 7-37 in D. J. D. Nichols and A. R. Egan (eds.), Trace Elements in Soil-Plants-Animal- system. Academia Press, New York.
20. Dowdy, R. H., W. E. Larson. (1975), Metal Uptake by Barley Seedlings Growth on Soils Amended with Sewage Sludge. J. Environ. Qual., Vol. 4, No. 2, No. p. 229-232.
21. Duffus, C. y C. Slaughter (1980), Las semillas y sus usos, AGT EDITOR, México, D.F. No. p. 12 - 93.
22. Eckenfelder, W. W., Jr. (1989). Industrial Waste Pollution Control, 2nd. Edition, McRAW-HILL. N.Y.
23. EPA, (1994) a plain english guide to the EPA part 503 biosolids rule, office of wastewater management (4204), EPA/832/003, Washington, D.C.
24. EPA, (1999). Summary Report on the EPA-Industry Meeting on Environmental Protection Agency, Washington, D.C. February 22.
25. Fallon, R. D., D. A. Cooper, R. Speece, and M. Henson. (1991). Anaerobic biodegradation of cyanide under methanogenic conditions. Appl. Environ. Microbiol. 57:1656-1662.
26. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), <http://www.fao.mx>
27. Felker, P. (1979), Uses ad potencial uses of leguminous trees for minimal energy imput agriculture: Econ. Bot. (33) No. p: 2-172.
28. Florence J. Leet y S. Judson (1986), Fundamentos de la Geología Física, México, Editorial LIMUSA, No. p: 11-125.
29. Foroughbakhch, R. y L. A. Háuad, (1989). Potencial forrajero de tres especies de *Leucaena* en el Noreste de México: Respuesta a diferentes espaciamentos. Reporte científico No. 12, Facultad de Ciencias Forestales, U. A. N. L., Linares, N. L. México. Pp: 31.
30. Foroughbakhch, R.(1989). Tratamiento a la semilla de catorce especies forestales de uso múltiple de zonas de matorral y su influencia en la germinación. Reporte científico No. 11, Facultad de Ciencias Forestales. U. A. N. L., Linares, N. L., México. Pp: 17.
31. Frank B. Salisbury, Cleon W. Ross (1994), Fisiología Vegetal, Grupo Editorial Iberoamericana, México, No. p: 127-176.
32. Gerhard Richter, (1984), Fisiología del metabolismo de las plantas, Editorial C. E. C. S. A., México, No. p: 265-285.
33. Goving, R., Lai, And R. Dobbs: (1991) <<Integrated Model for Predicting the Fate of Organics in Wastewaster Treatment Plants.>> Environ. Program. Vol. 10, No. 1, No. p: 13-23.
34. Guiot, S. R., M. F. Podrazny, and D. D. McLean. (1989). Assessment of macroenergetic parameters for an anaerobic upflow biomass bed and filter reactor. Biothechnol. Bioeng. 34:1277-1288.

35. Gupta, B. K., N. Kewalramani, K. S. Ramachandra and V. S. Upandhyay., (1986), Evaluation of *Leucaena* species ad hybrids in relation to growth ad chemical composition. *Leucaena Res. Report* (7) No: p: 43-45.
36. Harrinson Lee, (1995), *Manual de Auditoría Ambiental Medioambiental, Higiene y Seguridad, Segunda Edición, McGraw-Hill, México.* No. P: 12-45.
37. Harrinson Lee, (1998), *Suplemento del Manual de Auditoría Medioambiental, Higiene y Salud, McGraw-Hill, México.* No. P: 33-78.
38. Háuad , M. L. A., Ponce Moreno E. y R. Foroughbakhch P. (1999). "Tratamientos aplicados a biosólidos para ser utilizados como mejoradores de suelo". *Rev. Soc. Química* vol. 43, No. p: 63 ISSN 0583-7693.
39. Háuad M. L., Ruíz Hernández M, Foroughbakhch R., Saunders J. F.(1999)-B "Tratamiento de especies vegetales utilizando biosólidos como mejoradores de suelos bajo condiciones controladas". IV Simposio de Ciencia y Tecnología, SEP-CONACYT No. p: 76.
40. INEGI 1996, Carta Aguas Superficiales 1:1.000,000
41. INEGI 1996, Carta Clima 1:1.000,000
42. INEGI 1996, Carta Edafología 1:1.000,000
43. INEGI 1996, Carta Geología 1:1.000,000
44. INEGI 1996, Carta Hidrológica H251:1.000,000
45. INEGI 1996, Carta Precipitación Total Anual 1:1.000,000
46. INEGI 1996, Carta Temperatura Medias Anuales 1:1.000,000
47. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informatica. <http://dgcnesyp.inegi.gob.mx>.
48. Jensen, H. L. (1963), *J. appl. Bact.* 26, 253-261.
49. Joklik W. K., Willett H. P., Amos D. B. y Wilfert C. M (1994), *Microbiología* 20ª edición , Editorial Medica Panamericana, México, No. p: 20-29.
50. K. A. Barbarick, J. A. Ippolito y D. G. Westfall. (1997), *Sewage Biosolids cummulative effects on extractable-soil and grain elemntal concentrations*, *Journal of Environmental Quality*, Madison; Nov/Dec 1997.
51. Kelog, S. T., D.K. Chatterjee, and A. M. Chakrabarty, (1981), *Plasmid Assisted Molecular Breeding; New Technique for Enhanced Biodegradation of Persistent Toxic Chemicals*, *Science* 214:1133-1135.
52. King, J. M. M., P. M. DiGrazia, B. Applegate, R. Buriage, J. Sanseverino, P. Dunbar, F. Larimer, and G. S. Sayler. (1990). *Rapid and sensitive bioluminescent report technology for naphthalene exposure and biodegradation* *Science* 249:778-781.
53. Kleinholtz, E. W., G. Bitton, B. L. Damron, G. T. Edds, J. M. Davidson (eds). (1980). *Effect of Toxic Chemil Present in Sewage Sludge on Animal Health*. In: *Sludge-Healt Risks of land Application*. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan. No. p: 153-171.
54. Lagrega Michael D., Buckingham Phillip L, Evans Jeffrey C., (1996). *Gestión de residuos Tóxicos McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A.* No. p: 1-50.
55. Lavado R. S. y Taboada M. A., (1995), *factibilidad de la valorización agrícola de los biosólidos producidos por las plantas tratadoras de Arg.* [http://www.biosolidsarg.mx/1995/sewage_sludle Amended](http://www.biosolidsarg.mx/1995/sewage_sludle_Amended)
56. Levin Morris A. Y Gealt Michael A. (1997). *Biotratamiento de Residuos Tóxicos y residuos peligrosos, McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A.* No. p: 388.

57. **Ley General del Equilibrio Ecológico**, ediciones Delma, S. A: de C. V., México. No. p:127-142.
58. **Martin, J. P. (1960)**, *Res. Rev.*, 4, 96-129.
59. **Metcalf & Eddy, Inc (1991)**, *Wastewater Engineering, Treatment disposal reuse*, Third Edition, McGRAW-HILL Hispanoamericana Editions, U. S. A. No. p: 903-925.
60. **Metcalf y Eddy, (1996)**, *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización*, Tercera Edición McGraw-Hill, México. No. p: 867-1047.
61. **Mizrahi, A. (1989)**, *Biological waste treatment. Adv. Biotechnology. Proc.* 1:1-310.
62. **Newman, A. S. y Downing, C. R. (1963)**, *J. agric. Fd Chem.* 6, 345-348.
63. **Omenn, G. and A. Hollaender (eds). (1983)**. *Genetic Control of Environmental Pollutants*. Plenum Press, New York.
64. **Organización Mundial de la Salud (OMS)**, <http://www.oms.mx>
65. **Osuna Ceja Esteban S. y Padilla Ramírez J. Saúl, (1997)**, *Aplicación de biosólidos y polímeros bajo tres niveles de labranza en la producción de maíz de riego*, Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola, Memoria VII Congreso Nacional, Buena Vista, Saltillo, Coah- 22-27 de Octubre de 1997, No. p: 197-207.
66. **Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)**, <http://www.pnuma.mx>
67. **Rojas Garcidueñas Manuel (1972)**, *Fisiología Vegetal Aplicada*, McGraw-Hill, México. Pp: 252.
68. **Ruiz Hernández Mayra, (1999)**, *Evaluación de 3 especies vegetales de importancia agronomica aplicando biosólidos generados en el tratamiento del agua residual*, (TESIS), Pp: 95.
69. **Sabey, R.B. W.E., Hart. (1975)**, *Land Application of Sewage Sludge: I. Effect on Growth and Chemical Composition of Plants. J. Environ. Qual.*, Vol. 4, No. 2. No. p: 252-256.
70. **Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca.** <http://WWW.semarnap.gob.mx>
71. **Servicio de Agua y Drenaje de Monterrey.** <http://www.aguaydrenajemty.gob.mx>
72. **Shannon, E. E., F. J. Ludwig, I. Valdmains. (1976)**, *Polychlorinated Biphenylos (PCB's) in Municipal Waste Water: An Assessment of the problem in the canadian Lower Great Lakes.* Canada-Ontario Ageement Research Report No. 49. Ontario Ministry of the Environmet ad Environment Canada, Ottawa.
73. **Sieger Ronal B. (1999)**, *Biosolids Management in the USA using the EPA parta 503 Regulations*, Presented at the 7th Joint Meeting expo Agua '99, Mty. N. L. México.
74. **Standard Methods for the examination of water and wastewater. (1985)**, 16^a Editions APHA. AWWA. WPCF No p: 1268-1985.
75. **Stehouwer R, y Wolf Ann (1999)**, *Quality of land applied biosolids in Pennsylvania*, BioCycle; Emmaus.
76. **Stewart Correll D. and Conring Johnston M. (1970)**. *Manual of the Vascular Plants of Texas*, published by Texas resserch foundation Renner, Texas. No. p: 773- 783.
77. **Thayer, A. M. (1992)**. *Bioremediation: Innovatice technology for cleaning up hazardous waste.* Chem. Eng. News, Apr. 26, 1991, pp: 23-42.

78. **Turner, B.L. (1959).** The Legumes of Texas, University of Texas Press, Austin, U.S.A., No. p. 272-282.
79. **Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura, (UNESCO),** <http://www.unesco.gob.mx>
80. **Universidad de Washington,**
[hht://weber.u.washington.edu/robh/courses/esc311/1997/sewage sludde](http://weber.u.washington.edu/robh/courses/esc311/1997/sewage_sludde) Amended soils and heavy metals INTERNET 1997.
81. **Veeramani, M. (1987).** Fluidized bed systems for anaerobic biotechnology in waste management. Chem. Age India 38:543-546.
82. **Walia, S., A. Khan , and N. Rosenthal. (1990).** Construction and applications of DNA probes for the detection of polychlorinated biphenyl-degradation genotypes in toxic organic-contaminated soil environments. Appl. Environ. Microbiol. 56:254-259.
83. **Wang, M. J., S. P. Mcgrath, 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.
84. **Webber, M.D.; H.D., Monteith and D.G.M. Corneau. (1984),** Assessment of heavy metals and PCB's at selected sludge application sites. J. Water Pollut. Control Fed, 55, No. p: 187-195.
85. **Zar, Jerold N., (1996)** Bioestadística de análisis, Tercera edición, Prentice-Hall Inc. New Yersey No. p: 668.
86. **Zeph, L. R., M. A. Onaga, and G. Stotzky. (1988),** Transduction of *Escherichia coli* by bacteriophage PL in soil, Appl. Environmen. Microbiol. 54:1731-1737.

