

01177
7



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
Campo de conocimiento: Ingeniería Ambiental

"APLICACIÓN DE LODOS BIOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON
ÁCIDO PERACETICO EN TEPETATE"

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN INGENIERIA
(AMBIENTAL)

PRESENTA:

Biól. Jessica Ivette Díaz Avelar

Directora de tesis
Dra. Blanca E. Jiménez Cisneros

Ciudad Universitaria, Octubre, 2003

UN/M
POSGRADO
Ingeniería

A

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

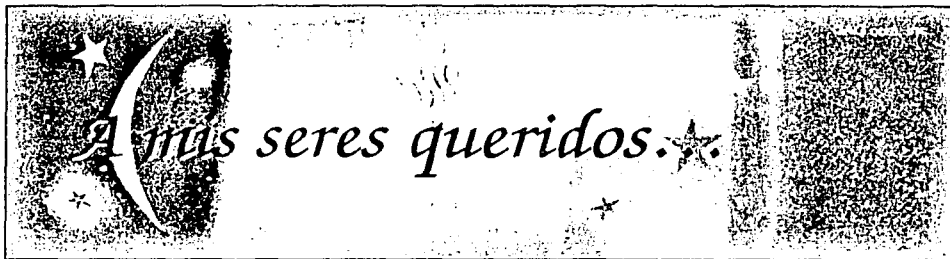


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo académico.

NOMBRE: DIAG Avelar

Jessica Ivette

FECHA: 29/SEP/03

FIRMA: Julio

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

B

Agradecimientos

De nuevo quiero agradecer a Dios por dejarme terminar otra etapa de mis estudios.

A mis padres, pilares de mi vida, invariablemente lindos conmigo ya que siempre me apoyan a cumplir mis ideales y con su ejemplo me enseñan que todo se puede con voluntad y dedicación. Los quiero mucho.

A mis hermanos Winnie y Arturo por quererme, tener fe en mí e interesarse en lo que hago, además de ser los hermanos más buenos del mundo, los admiro mucho. Así mismo a mi Abuelita que me guía con sus consejos que son tan importantes para mí.

De manera super especial a mi novio Vicente por estar a mi lado brindándome su amor y confianza, compartiendo siempre alegrías, sueños y retos que me dan fuerza para ir más allá... También por su magia y estilo de vivir en armonía que contagia a todos los que lo rodean. Gracias Vince, te amo eres muy importante en mi vida y recuerda *no te salves nunca!*

A la UNAM, así como a mis maestros miembros del jurado Irene Pisanty, Ana E. Silva y Susana Saval por sus valiosos comentarios y aportaciones a la tesis.

A CONACyT y a la DGEP por las becas otorgadas para realizar los estudios de maestría.

A la Dra. Blanca Jiménez por su impresionante forma de ser llena de energía, dinamismo y confianza en sí misma que me motivan y enseñan a trabajar duro y a ser mejor. Gracias.

Particularmente a José Antonio Barrios ya que sus consejos y enseñanzas fueron invaluable y definitivos para la culminación de esta tesis, así como por los momentos compartidos en el GTR. Tú sabes que eres mi tutor dígan lo que digan... y ¿eso es lo que vale no?

A todos los miembros del GTR*, en especial a Juan Manuel, Auroringo, Norma, Miguel Ángel y Rosa por tenerme paciencia y ayudarme, así como por las risas, las pláticas, las comidas etc... que hicieron mi estancia mucho más agradable en el Instituto.

A mis amigos de la maestría Carlos, Tatiana, Norma, Alejandro y Adrián por las clases que compartimos y por lo mucho que me apoyaron personal y académicamente. También a mi amiga Gabriela Llorente por ser eso, mi amiga en toda la extensión de la palabra y en general a todos mis amigos que me ayudan a ser una persona mejor al compartir conmigo su vida.

A mis excompañeros del laboratorio de fertilidad de suelos del Instituto de Geología especialmente al Dr. David Flores, Aleida, las Tania's (Vargas e Izquierdo) y Alma por seguirme apoyando, siempre amables conmigo.

GTR*: Gaby, Morichi, German, Ana, Caty, Vanessa, Fernanda, Juan Pablo, Toño, Alma y Ricardo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

c



Future belongs to those who believe in their dreams

TESIS CON
FALLA EN ENGEN

RESUMEN.

THE LOW
FALLS, MISSOURI

E

RESUMEN

En la mayoría de los países en desarrollo, como México, los lodos residuales contienen elevadas concentraciones de microorganismos patógenos, las cuales se relacionan con las condiciones de higiene y saneamiento. Las tecnologías utilizadas comúnmente para el control de estos patógenos recurren al calor para incrementar la temperatura o a agentes químicos, como la cal, que modifican el pH. Recientemente, se desarrollan procesos de estabilización no convencionales que usan desinfectantes biodegradables. De ellos resalta el ácido peracético (APA) que se utiliza en la industria médica y alimenticia e incluso para la desinfección de algunos efluentes.

Por otra parte, debido a su contenido de materia orgánica y nutrimentos (principalmente nitrógeno), el reúso de los lodos estabilizados (biosólidos), para mejorar suelos es una práctica que actualmente se extiende por el mundo. Sin embargo, en México, los lodos no son sujeto de aprovechamiento, son descargados a los cuerpos de agua a pesar de que el 80% de los suelos presentan algún tipo de degradación. Un caso particular son los tepetates, capas endurecidas carentes de materia orgánica y nutrimentos, que cubren aproximadamente el 30% del territorio nacional. Para la incorporación de estos materiales al proceso productivo se requiere de una habilitación; el uso de los biosólidos para este propósito es una alternativa que puede resolver tanto el problema de su depósito final como incrementar la fertilidad de los tepetates. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de lodos biológicos estabilizados con ácido peracético, en la fertilidad de un tepetate fragmentado en condiciones de invernadero.

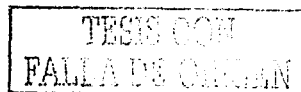
La primera etapa se realizó con objeto de demostrar el efecto desinfectante del APA en lodos biológicos. Para ello, se aplicaron dosis de 0, 250, 500, 750 y 1000 ppm de APA durante 30 min. Al final de cada tratamiento se tomaron muestras para su análisis microbiológico. Los resultados demostraron que el APA remueve eficientemente los microorganismos presentes ya que con dosis de 250 ppm y mayores se redujo significativamente su contenido. Con dosis superiores a 750 ppm, los coliformes fecales fueron inactivados hasta en 6.5 unidades logarítmicas. Por su parte, la máxima eficiencia de remoción de huevos de helmintos viables (90%) se obtuvo con 1000 ppm. Cabe mencionar que la dosis óptima resultante para la inactivación de microorganismos patógenos con fines de aplicación a suelos fue de 500 ppm. Adicionalmente, se realizaron pruebas de acondicionamiento de los lodos estabilizados con seis polímeros catiónicos. Se seleccionó al ECOFOLC 6120 como la opción recomendable debido al mayor volumen aparente de agua separado de los sólidos totales. Para la deshidratación de los lodos acondicionados se utilizó un filtro prensa piloto, con el cual se obtuvo una concentración de ST del 7.4%. Al final de todo el tren de tratamiento, los biosólidos presentaron un pH de 6.5, materia orgánica de 12.9% y capacidad de intercambio catiónico total (CICT) total de 71 Cmol*kg⁻¹; características adecuadas para su reúso como mejoradores de suelos.

La siguiente etapa de experimentación consistió en evaluar la fertilidad de los tepetates adicionados con biosólidos, se seleccionó al Cempasúchil (*Tagetes erecta*) debido a que es una especie ornamental rústica con un importante valor económico y cultural. En la tercera etapa, se evaluó la aplicación de los biosólidos en la fertilidad de los tepetates en términos de sus propiedades fisicoquímicas y del desarrollo del Cempasúchil. Los tepetates se obtuvieron del municipio de Tetela del Volcán, Morelos. Posteriormente a su fragmentación, 6.9 L de éstos se mezclaron con biosólidos estabilizados en cantidades equivalentes a 0, 1, 10 y 20 tasas agronómicas para el Cempasúchil y se depositaron en macetas experimentales con y sin planta.

Al finalizar el periodo experimental (cuatro meses), los resultados demostraron que el contenido de materia orgánica del tepetate se incrementó de 0.2% a 2.5%. Una tendencia similar se obtuvo con la CICT y el nitrógeno (NTK, N-NH₄⁺ y N-Org), mismos que elevaron sus concentraciones de 24, 74, 14 y 79 hasta 41 Cmol·kg⁻¹, 1648, 1335 y 313 mg/kg, respectivamente. En adición, los valores de pH (5.9 a 7.2) fueron adecuados para el desarrollo de la planta y la absorción de los nutrimentos. Con relación al desarrollo de las plantas, el tratamiento testigo prácticamente no presentó crecimiento (14.3 cm), producción de botones o mejoras en las propiedades edafológicas del tepetate. En contraste, los tratamientos con una y diez tasas agronómicas permitieron el desarrollo satisfactorio del Cempasúchil, alcanzando una altura máxima promedio de 107 cm y una productividad de flores y botones de 55/planta.

Finalmente, los resultados demostraron que la estabilización de lodos biológicos con ácido peracético es una alternativa de tratamiento para producir biosólidos capaces de mejorar la fertilidad de los tepetates y el desarrollo del cempasúchil. Estas características pueden ser utilizadas para contrarrestar satisfactoriamente la problemática edáfica del país.

G



ABSTRACT.

H



ABSTRACT

In developing countries, like Mexico, sewage sludge contains high concentrations of pathogenic microorganisms which are directly related to their levels of sanitation and hygiene in these countries. The technology commonly applied to control these pathogens uses heat to increment the temperature or chemical agents, like lime, to modify the pH. Recently, a variety of non conventional processes that uses biodegradable disinfectants has been developed. Among them, peracetic acid (PAA) stands out. This has been used effectively in the food and medical industries and also in the disinfection of several effluents including sludge.

On the other hand, due to the high content of organic matter and nutrients (mainly nitrogen), the reuse of stabilized sludge (biosolids) to improve soils, is a practice that is spreading through out the world. However, in Mexico, sludge is not given the importance it deserves; it is discharged to water bodies even though more than 80% of soils show some degree of degradation. An example are the locally named tepetates, which are an indurated layer that have very few nutrients and very little organic matter content, despite them covering 30% of the national territory. To incorporate these materials into the productive process a habilitation practice is required. So, using biosolids for this purpose may be an alternative that can not only solve their problem of final deposition, but also, increment the fertility of the tepetate. The aim of this study was to evaluate the effect of the application of biological sludge, stabilized with peracetic acid, on the fertility of a fragmented tepetate under green house conditions.

The first stage was to demonstrate the disinfectant effect of PAA in biological sludge. Doses of 0, 250, 500, 750 and 1000 ppm of PAA were applied for a 30 minute contact time. At the end of the process microbiological analyses were performed. Results showed that PAA efficiently removes sludge microorganisms; with doses of 250 ppm or higher the content is significantly reduced. Doses higher than 750 ppm inactivated faecal coliforms up to 6.5 logs. Regarding the inactivation of helminth ova, the maximum efficiency (90%), was obtained with that dose of 1000 ppm. It is worth to mentioning that the optimum dose for soil restoration purposes was the one of 500 ppm PAA. Additionally, conditioning preliminary tests have been done using six cationic polymers. From these the ECOFLOC 6120 was the best option, due to its capacity to separate a greater apparent volume of water from total solids of sludge. Sludge dewatering was carried out using a pilot filter press and obtaining a final concentration of 7.4% of total solids. At the end of the whole treatment train, the biosolids obtained presented a pH of 6.5, an organic matter of 12.9% and a cation exchange capacity (CEC), of 71 Cmol*kg. These characteristics make biosolids suitable for their reuse as soil amendments.

The next stage consists of the evaluation of the fertility of the tepetate, for this the Marigold plant (*Tagetes erecta*) was selected due to its ornamental, cultural, rustic and economical benefits. The final stage evaluated the applicability of the biosolids in the fertility of the tepetate in terms of physicochemical characteristics and the development of the Marigold. The tepetates were obtained from Tetela del Volcán, Morelos. After fragmentation, 6.9 L were mixed up with the biosolids in quantities equivalent to 0, 1, 10 and 20 agronomic rates for the Marigold. Then the mixture was put into experimental pots, some with and some without the Marigold.

I

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

At the end of the experimental period (four months), the results showed an increment in the organic matter content in the tepetate going from 0.2 to 2.5%. A similar behavior was obtained with the CEC and the nitrogen (NTK, N-NH₄ and N-Org), which elevate their concentrations from 24 Cmol/kg, 74, 14 y 79 mg/kg up to 41, 1648, 1335 and 313, respectively. In addition, the values of pH ranged from 5.9 to 7.2 which are adequate to the plant development and the absorption of nutrients. Concerning plant development, the control showed a growth of only 14.3 cm and no production of flowers or buds. In contrast, treatments with one or ten times the agronomic rate allowed a satisfactory develop of the Marigold, reaching an average maximum height of 107 cm and a maximum production of 55 flowers and buds per plant.

Finally, the results proved that the stabilization of biological sludge with peracetic acid is an alternative treatment to produce biosolids capable of improving the fertility of the tepetate and the development of the Marigold. These characteristics should be used to manage the soil degradation of the whole country successfully.

1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONTENIDO.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

K

PAGINACIÓN DISCONTINUA

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	6
METAS.....	6
HIPÓTESIS.....	7
1 ANTECEDENTES.....	8
1.1 Problemática de los lodos.....	8
1.2 Biosólidos.....	11
1.2.1 Definición.....	11
1.3 Normatividad asociada a lodos y biosólidos.....	14
1.3.1 En México.....	14
1.3.2 En Estados Unidos.....	15
1.4 Uso de los biosólidos.....	17
1.4.1 Papel de biosólidos como mejoradores de suelo.....	18
1.4.2 Propiedades útiles del biosólido.....	19
1.4.3 Beneficios de la aplicación de biosólidos en sitios degradados.....	21
1.4.4 Manejo y aplicación de biosólidos.....	22
1.4.5 Tasas de aplicación del biosólido.....	23
1.4.5.1 Tasas de aplicación de acuerdo al tipo de uso de suelo.....	24
1.4.5.2 Tasas de aplicación para restauración de suelos.....	24
1.4.5.3 Cálculo de la tasa de aplicación del biosólido.....	25
1.4.6 Experiencias de la aplicación de biosólidos en suelos en México.....	26
1.5 Procesos para producir biosólidos.....	28
1.5.1 Procesos tradicionales.....	29
1.5.2 Procesos no tradicionales.....	32
1.6 Ácido peracético (APA).....	35
1.6.1 Generalidades.....	35
1.6.2 Usos y beneficios.....	36
1.6.3 Mecanismo de desinfección.....	38
1.6.4 Experiencias en el tratamiento de aguas y lodos residuales.....	40
1.7 Tepetates.....	43
1.7.1 Características generales.....	43
1.7.2 Clasificación.....	43

1.7.3	Distribución en México	45
1.7.4	Problemática y habilitación	47
2	METODOLOGÍA	50
2.1	Preparación del biosólido	53
2.1.1	Muestreo de lodo biológico	53
2.1.2	Caracterización fisicoquímica y microbiológica del lodo crudo y estabilizado	55
2.1.3	Modelo de desinfección	56
2.1.4	Selección de la dosis recomendable de APA	56
2.1.5	Selección del polímero adecuado para el acondicionamiento	57
2.1.6	Deshidratación del biosólido	58
2.1.7	Muestreo del tepetate	59
2.2	Elección de la especie vegetal	60
2.2.1	Elección de la especie vegetal	61
2.2.2	Pruebas de germinación	63
2.3	Aplicación del biosólido al tepetate	63
2.3.1	Establecimiento y diseño del experimento	64
2.3.2	Caracterización inicial del tepetate	64
2.3.3	Determinación de la tasa de aplicación del lodo	65
2.3.3.1	Determinación de la tasa agronómica de aplicación con base en el contenido de nitrógeno	65
2.3.3.2	Determinación de la tasa agronómica de con base en la concentración de metales pesados	66
2.3.4	Aplicación del biosólido a las macetas con tepetate	66
2.3.5	Transplante de especies vegetales	67
2.3.6	Cálculo de la lámina de riego	67
2.3.7	Análisis de crecimiento vegetativo de los tratamientos con planta	68
2.3.8	Caracterización final del tepetate de las macetas	68
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
3.1	Preparación del biosólido	69
3.1.1	Caracterización fisicoquímica del lodo crudo y estabilizado	69
3.1.1.1	pH	69
3.1.1.2	Sólidos totales y volátiles	71
3.1.1.3	Nitrógeno amoniacal	71
3.1.2	Caracterización microbiológica del lodo crudo y estabilizado	72
3.1.2.1	Coliformes fecales	72
3.1.2.2	Huevos de helmintos	75
3.1.2.3	Géneros de los huevos de helmintos	77
3.1.3	Modelación	78
3.1.4	Elección de la dosis recomendable de APA	80
3.1.5	Pruebas de tipo y dosis de polímero para acondicionar	81
3.1.6	Caracterización del biosólido a aplicar, después de la deshidratación	83
3.2	Elección de la especie vegetal	84
3.2.1	Pruebas de germinación y emergencia de Cempasúchil	84

3.3	Aplicación del biosólido al tepetate	85
3.3.1	Caracterización inicial del tepetate	85
3.3.2	Cálculo de la tasa de aplicación del biosólido	86
3.3.2.1	Con base en la concentración de nitrógeno	86
3.3.2.2	Con base en la concentración de metales pesados	87
3.3.3	Cálculo de la lámina de riego	88
3.3.4	Parámetros vegetativos del Cempasúchil	88
3.3.4.1	Altura y crecimiento	89
3.3.4.2	Productividad	95
3.3.5	Mediciones de las flores, los botones, el tallo+follaje y la raíz del Cempasúchil	97
3.3.5.1	Mediciones de las flores	97
3.3.5.2	Mediciones de los botones	98
3.3.5.3	Mediciones del tallo + follaje y raíz	98
3.3.5.4	Mediciones de las hojas	101
3.3.6	Observaciones complementarias	101
3.3.6.1	Lámina de riego	102
3.3.6.2	Infiltración	102
3.3.6.3	Formación de agregados	103
3.3.7	Parámetros Edafológicos del Tepetate	104
3.3.7.1	Color	104
3.3.7.2	Porcentaje de materia orgánica	107
3.3.7.3	Porcentaje de carbono orgánico	109
3.3.7.4	pH	110
3.3.7.5	Capacidad de intercambio catiónico total	111
3.3.7.6	Nitrógeno Total Kjeldal (NTK)	113
3.3.7.7	Nitrógeno Amoniacal	114
3.3.7.8	Nitrógeno Orgánico	116
3.3.8	Análisis global	117
4	Conclusiones y Recomendaciones	119
4.1	Conclusiones	119
4.2	Recomendaciones	121
LITERATURA CITADA		122
ANEXOS		1

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Lista de Tablas

	Página
Tabla 1.1 Organismos presentes en lodos y sus posibles enfermedades.....	9
Tabla 1.2 Supervivencia de algunos organismos patógenos, en distintos medios.....	10
Tabla 1.3 Límites máximos permisibles de microorganismo de la NOM-004-SEMARNAT-2002 ...	13
Tabla 1.4 Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.....	13
Tabla 1.5 Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos.....	14
Tabla 1.6 Depósito de lodos y opciones de reúso en sitios con y sin contacto público.....	18
Tabla 1.7 Nutrientes presentes en los biosólidos.....	20
Tabla 1.8 Composición química de un lodo biológico típico.....	20
Tabla 1.9 Distancia límite de aplicación de lodos en distintos sitios de disposición.....	23
Tabla 1.10 Tasas de aplicación de biosólidos en las diferentes opciones de uso del suelo.....	24
Tabla 1.11 Tasas agronómicas recomendadas para la restauración de suelos perturbados.....	24
Tabla 1.12 Límites de metales pesados en suelos.....	25
Tabla 1.13 Estudios previos de la factibilidad de la aplicación de biosólidos en México.....	27
Tabla 1.14. Remoción de microorganismos por medio de distintos procesos de estabilización (Barber, 2001).....	34
Tabla 1.15 Usos del Ácido Peracético.....	36
Tabla 1.16 Comparación del efecto biocida del APA con el peracético.....	40
Tabla 1.17 Desinfección de aguas residuales con APA y su efecto en la remoción o inactivación de ciertos microorganismos patógenos.....	41
Tabla 1.18 Desinfección de lodos residuales con APA y su efecto en la remoción o inactivación de ciertos microorganismos patógenos.....	42
Tabla 1.19 Denominación del Tepetate.....	45
Tabla 1.20. Superficie y Porcentaje de la cobertura de las capas endurecidas en México.....	46
Tabla 1.21 Superficie y cobertura por tipo de capa endurecida en México.....	47
Tabla 2.1 Parámetros de estudio del lodo crudo y tratado*.....	55
Tabla 2.2 Polímeros utilizados en las pruebas preliminares.....	58
Tabla 2.3. Usos y características más ventajosas del cultivo y producción del Cempasúchil.....	62
Tabla 2.4. Parámetros de estudio del tepetate.....	65
Tabla 3.1 Caracterización del lodo tratado con dosis de APA.....	70
Tabla 3.2. Destrucción de coliformes fecales, obtenidas en los tratamientos.....	74
Tabla 3.3. Análisis de varianza para el experimento de destrucción de.....	74
Tabla 3.4 Concentración de huevos de helmintos en el lodo crudo y tratado.....	77
Tabla 3.5. Distribución de los géneros de helminto en lodo crudo y tratado.....	78
Tabla 3.6. Valores de REF y de la dosis de polímero.....	82
Tabla 3.7. Porcentaje de germinación y emergencia de las 2 casas semilleras.....	84
Tabla 3.8. Caracterización fisicoquímica del tepetate en estado inicial.....	86
Tabla 3.9. Contenido de metales en lodo estabilizado y tasa agronómica de metales.....	87
Tabla 3.10 Tratamientos y tasas agronómicas del experimento.....	88
Tabla 3.11. Datos de la velocidad de crecimiento de los tratamientos.....	92
Tabla 3.12. Mediciones de las flores, botones, tallo+follaje, hojas y raíz en los tratamientos.....	97
Tabla 3.13. Características edafológicas del tepetate con las distintas tasas agronómicas de aplicación y con y sin especie vegetal.....	106

Lista de Figuras

	Página
Figura 1.1. Métodos de estabilización tradicionales * y no tradicionales.....	29
Figura 1.2 Esquema de la desnaturalización celular, causado por el ácido peracético.....	39
Figura 1.3 Esquema de Inhibición Enzimática del Ácido Peracético (APA).....	39
Figura 1.4 Zonas con tepetate en México, Flores et al. (1991).....	46
Figura 2.1. Esquema de la metodología global de la tesis.	51
Figura 2.2 Diagrama del tren de tratamiento de la planta de Cerro de la Estrella.	54
Figura 3.1. pH del lodo al incrementar la dosis de ácido peracético.....	70
Figura 3.2. Porcentaje de sólidos totales y volátiles en el lodo crudo y estabilizado.....	71
Figura 3.3. Contenido de coliformes fecales con las distintas dosis de APA.....	73
Figura 3.4. Efecto del APA en la concentración de huevos de helmintos.....	76
Figura 3.5. Inactivación de huevos de helmintos en función de la concentración de APA [C en ppm] y un tiempo de contacto de 30 minutos.	79
Figura 3.6. Reducción de coliformes fecales en función de la concentración de APA (ppm) y un tiempo de contacto de 30 minutos.	80
Figura 3.7. Resistencia Específica a la Filtración (REF), en el lodo estabilizado.	83
Figura 3.8. Altura de las plantas de Cempasúchil en los distintos tratamientos	90
Figura 3.9. Crecimiento del Cempasúchil en los distintos tratamientos.....	91
Figura 3.10. Velocidad de crecimiento a lo largo del periodo experimental.....	93
Figura 3.11. Número de flores y botones a lo largo del experimento.	96
Figura 3.12. Contenido de materia orgánica del tepetate en los distintos tratamientos.....	108
Figura 3.13. Tasas agronómicas contra la materia orgánica del tepetate.	109
Figura 3.14. pH del tepetate con las distintas tasas agronómicas de aplicación	110
Figura 3.15 Capacidad de intercambio catiónico total del tepetate en los distintos tratamientos .	112
Figura 3.16. Contenido de NTK en el tepetate bajo la aplicación de los distintos tratamientos....	113
Figura 3.17. Concentración de nitrógeno amoniacal en el tepetate con los distintos tratamientos.	115
Figura 3.18. Contenido de nitrógeno orgánico en el tepetate con las distintas tasas agronómicas.	116

Lista de Fotos

	Página
Foto 2.1 PTAR de Cerro de la Estrella, línea de recirculación.....	53
Foto 2.2 Sitio de muestreo, en la línea y Foto 2.3 Muestreo del lodo biológico en	54
Foto 2.4 Prueba de jarras, lodo biológico con las cinco dosis de ácido peracético.	57
Foto 2.5 Preparación de los seis polímeros y Foto 2.6 Embudo Büchner para la (REF). para acondicionar el lodo.....	58
Foto 2.7. Filtro prensa piloto.....	59
Foto 2.8. Zona de muestreo del tepetate, carretera Tetela-Zacualpan.....	60
Foto 2.9. Muestreo del tepetate.....	60
Foto 2.10 Germinación de Cempasúchil, en vermiculita.	63
Foto 2.11 Invernadero en el cual se estableció el experimento.....	67
Foto 3.1 y Foto 3.2. Comparación del ECOFLOC 5260 y el ECOFLOC 6120 respectivamente.	81
Foto 3.3. Torta de lodo después de la deshidratación en el filtro prensa piloto.....	83
Foto 3.4. Tratamientos con planta en el invernadero recién transplantados 19/Sep/02.	93
Foto 3.5. Tratamientos con planta al mes y Foto 3.6. Tratamientos con planta a	94
Foto 3.7. Tratamientos con planta a los tres y Foto 3.8. Tratamientos con planta en el.....	94
Foto 3.9. Producción de flores y botones del tratamiento P10TA al término del experimento.....	95
Foto 3.10, Foto 3.11 y Foto 3.12 Diferencias entre el tallo de los distintos tratamientos.....	100
Foto 3.13. Diferencias entre las hojas y las flores de los distintos tratamientos con planta.....	101
Foto 3.14 Posible formación de agregados en el tepetate, por efecto de.....	104

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO**Página**

1	Anexo Uno Resistencia específica a la filtración (REF)	I
2	Anexo Dos Descripción del Cempasúchil	II
3	Anexo Tres Estadística	III
3.1	Microbiológicos	III
3.1.1	Coliformes fecales	III
3.1.2	Huevos de helmintos	IV
3.2	Plantas	V
3.2.1	Peso fresco de las flores	V
3.2.2	Largo del tallo	VI
3.2.3	Productividad máxima	VII
3.2.4	Crecimiento final	VIII
3.2.5	Ancho y largo de la flor	IX
3.3	Edafológicos	XI
3.3.1	Porcentaje de materia orgánica	XI
3.3.2	pH	XIII
3.3.3	Capacidad de Intercambio Catiónico Total	XVI
3.3.4	Nitrógeno total Khjeldal	XVII
3.3.5	Nitrógeno Amoniacal	XIX
3.3.6	Nitrógeno Orgánico	XXI

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PAGINACIÓN DISCONTINUA

Tablas Anexos**Página**

Tabla 0.1. Análisis de variancia del peso fresco de las flores en los distintos tratamientos.	V
Tabla 0.2. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.	VI
Tabla 0.3. Análisis de variancia del largo del tallo en los distintos tratamientos.....	VI
Tabla 0.4. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.	VII
Tabla 0.5. Análisis de variancia de la productividad máxima en los distintos tratamientos.	VIII
Tabla 0.6. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.	VIII
Tabla 0.7. Análisis de variancia del crecimiento final en los distintos tratamientos.	VIII
Tabla 0.8. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.	IX
Tabla 0.9. Análisis de variancia del largo del tallo en los distintos tratamientos.....	IX
Tabla 0.10. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.	X
Tabla 0.11. Análisis de variancia del largo del pedúnculo en los distintos tratamientos.	X
Tabla 0.12. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.	XI
Tabla 0.13 Porcentaje de materia orgánica del tepetate en las tres repeticiones.....	XII
Tabla 0.14. Análisis de variancia para el diseño bifactorial de materia orgánica.....	XII
Tabla 0.15. Comparaciones múltiples de Duncan.	XIII
Tabla 0.16 Valores de pH en agua del tepetate en las tres repeticiones.....	XIV
Tabla 0.17. Análisis de variancia para el diseño bifactorial del pH.	XIV
Tabla 0.18. Comparaciones múltiples de Duncan.	XV
Tabla 0.19 Contenido de CICT del tepetate en las tres repeticiones.....	XVI
Tabla 0.20. Análisis de variancia para el diseño bifactorial de la CICT.	XVI
Tabla 0.21. Comparaciones múltiples de Duncan.	XVII
Tabla 0.22 Contenido de nitrógeno total khijeldal del tepetate en las tres repeticiones.	XVIII
Tabla 0.23. Análisis de variancia para el diseño bifactorial del NTK.	XVIII
Tabla 0.24 Contenido de nitrógeno amoniacal del tepetate en las tres repeticiones.....	XIX
Tabla 0.25. Análisis de variancia para el diseño bifactorial del nitrógeno amoniacal.	XX
Tabla 0.26. Comparaciones múltiples de Duncan.	XXI
Tabla 0.27 Contenido de nitrógeno amoniacal del tepetate en las tres repeticiones.....	XXI
Tabla 0.28 Análisis de variancia para el diseño bifactorial del nitrógeno amoniacal.	XXI
Tabla 0.29 Comparaciones de medias múltiples de Duncan.....	XXII

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figuras Anexos

Página

Figura 0.1. Equipo para la prueba de Resistencia Específica a la Filtración.	I
Figura 0.1. Tasas agronómicas Vs el pH del tepetate.	XV
Figura 0.2. Tasas agronómicas Vs la CICT del tepetate.	XVII
Figura 0.3. Tasas agronómicas Vs el NTK del tepetate.	XIX
Figura 0.4. Tasas agronómicas Vs el contenido de nitrógeno amoniacal del tepetate.	XX
Figura 0.5. Tasas agronómicas Vs el nitrógeno orgánico del tepetate.	XXII

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

El aumento en el volumen de agua residual que se trate en México ocasionará que la cantidad de lodos generados se incremente de manera proporcional (Tabla 1). Estos lodos por su alto contenido de microorganismos eran considerados como residuos peligrosos de acuerdo con la NOM-052-ECOL-1993. Sin embargo, gracias al proyecto de norma NOM-004-ECOL-2001, si reciben un tratamiento adecuado, se podrán reutilizar de manera benéfica como mejoradores de suelos.

Tabla 1. Producción estimada de lodos en México, en 1998 y al cumplimiento de la NOM-001-ECOL-1996.

Q tratado (m ³ /s)	Producción estimada de lodos (ton ST/año)	Condición
40.86	302, 000	Inventario de PTAR, CNA (1998).
157.55	640, 000	Estimado al cumplimiento de la NOM-001-ECOL-1996.

Por otra parte, se requieren más estudios del suelo en México, que busquen remediar la actual problemática de degradación y contaminación. La importancia de ello no sólo radica en que son la base para la producción de alimentos, sino también, de la flora y la fauna terrestre, por lo que es imperativo disminuir los procesos de deterioro que enfrentan (erosión, salinización, contaminación, compactación y cementación). Por tal motivo y desde hace algunas décadas se han realizado estudios y proyectos sobre el empleo de diversas enmiendas como los estiércoles, los fertilizantes, las especies vegetales, los desechos orgánicos y la composta. Dentro de estas técnicas una de las más innovadoras y eco-eficientes es la aplicación de lodos provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que cuando son estabilizados se denominan biosólidos y son útiles para mejorar la productividad de los suelos. Así al reciclar los lodos residuales a los suelos no sólo se contribuye a preservar los suelos sino que además se resuelve el problema del depósito final de los lodos. Los biosólidos modifican la estructura de los suelos, incrementan su humedad y contenido de materia orgánica. Además, aportan nitrógeno, fósforo y potasio; así como

algunos micronutrientes como magnesio, zinc, cobre, azufre, manganeso, hierro y calcio que se requieren en la agricultura.

Se estima que en México los tepetates se encuentran en el 30% del territorio nacional (Flores *et al.*, 1991) ocupando alrededor de 3, 700,000 ha (Zebrowski, 1992). Los tepetates son capas volcánicas endurecidas carentes de materia orgánica y nutrientes (Flores *et al.*, 1996). Estas capas propician la erosión de suelos aledaños junto con la transformación de zonas productivas en improductivas. Por esta razón, los tepetates son materiales que pudieran ser mejorados mediante la aplicación de biosólidos.

Existen distintos métodos para estabilizar lodos que funcionan adecuadamente en países desarrollados donde los niveles de higiene y saneamiento son relativamente altos. Sin embargo, en los países en desarrollo como México, estos procesos no siempre resultan apropiados para la gran cantidad de microorganismos patógenos y parásitos presentes en los lodos. Es por esto, que se deben probar nuevos métodos con desinfectantes más potentes, pero que sean ambientalmente amigables y económicos para extender su uso. Dentro de éstos desinfectantes se encuentra el ácido peracético, el cual ha sido ampliamente probado en la industria y en forma limitada en el campo del tratamiento del agua y lodos residuales.

La presente investigación tiene por objetivo evaluar el efecto de aplicar lodos biológicos estabilizados con ácido peracético en tepetates. Para lograr esto, se realizó una revisión bibliográfica para entender los fundamentos teóricos (Capítulo Uno) que sustentan la elaboración del proyecto. Con ello, se elaboró la metodología (Capítulo Dos), que consta de tres etapas:

- 1) En la primera, se estabilizó el lodo biológico con ácido peracético (APA), se acondicionó y deshidrató para poder aplicarlo al tepetate. Se determinó la dosis apropiada de desinfectante en función del contenido de coliformes fecales y huevos de helmintos y, posteriormente, se seleccionó un polímero apropiado a las condiciones ácidas así como la dosis para llevar a cabo el acondicionamiento.
- 2) En la segunda etapa, se seleccionó la especie vegetal por sembrar tomando en cuenta las características inhóspitas de los tepetates, así como las necesidades agronómicas de la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

zona de estudio y que la planta fuera de interés económico ornamental para no correr riesgos de salud.

- 3) En la tercera etapa, se estudió la aplicación del biosólido al tepetate con el fin de habilitarlo. Para esto, se eligió un tepetate de la zona de Tetela del Volcán, estado de Morelos. Posteriormente, se probaron tres tasas agronómicas de restauración de suelos en macetas con y sin Cempasúchil. Se evaluó el desarrollo de la planta en términos de crecimiento y productividad (No. de flores, botones y peso del material vegetal) como las características edafológicas iniciales y finales del tepetate. Para ello se llevó a cabo un análisis estadístico.

En el capítulo cuatro se analizaron los resultados para definir la conveniencia de aplicar biosólidos estabilizados con ácido peracético para mejorar la calidad e incrementar la productividad de los tepetates. Finalmente, en el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones de éste trabajo, las cuales juzgan y califican los objetivos y metas de la investigación.

JUSTIFICACIÓN.

TESTE CON
FALLA DE ORDEN

JUSTIFICACION

En México, se espera que con el cumplimiento de la NOM-001-ECOL-1996 incremente el caudal de agua tratado. Con ello se genera cerca de 700,000 toneladas anuales de lodo base seca (CNA, 1998). Con el objeto de dar un uso más apropiado a los lodos, pronto será publicada formalmente la NOM-004-ECOL-2001 la cual establece los límites de contaminantes y microorganismos patógenos en lodos estabilizados (biosólidos) que pretendan ser aplicados o depositados en suelos, como una opción de reúso. La norma no menciona la estabilización ácida como proceso para producir biosólidos, pero dada su eficiencia de desinfección y que las dosis de ácido utilizadas no representan ningún riesgo para la acidificación del suelo, resulta de interés su estudio. Además, dadas las condiciones de salud y la falta de saneamiento en países como México, se requiere probar nuevos procesos capaces de reducir el elevado contenido de microorganismos patógenos presentes en el lodo. En particular, debido a que los procesos aceptados en la actualidad (convencionales), difícilmente cumplen con los límites impuestos por la norma mexicana.

Por otra parte, la norma busca el aprovechamiento de los lodos en los suelos debido a la problemática edáfica que existe en el país. En efecto, el 80% de los suelos presenta algún tipo de degradación. Un caso especial lo constituyen los "tepetates", que son capas endurecidas de origen volcánico con cierto grado de compactación y/o cementación y con un bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Estas características hacen que los suelos sean prácticamente improductivos, no aptos para uso agrícola, forestal ni pecuario. Por ello y porque ocupan más de 3, 700,000 hectáreas del territorio nacional (Zebrowski, 1992), los tepetates constituyen un problema social y económico en el país. La presencia de capas cementadas o endurecidas como los tepetates favorecen la erosión del suelo pues al impedir el paso del agua al subsuelo propicia el drenaje lateral, con la consecuente disgregación y transporte de partículas minerales (Flores *et al.*, 1991). Por las limitaciones que presentan para su uso y su escasa fertilidad, en general los sitios en los que aflora son abandonados (Velázquez *et al.*, 1998). En México, Morelos es conocido por presentar zonas con tepetates, específicamente en Tetela del Volcán y recientemente ha reportado problemas de productividad agrícola debido a su afloramiento.

TESIS CON
FALLA DE COPIEN

Con base en lo anterior, y tomando en cuenta los estudios previos de estabilización ácida, (Jiménez *et al.*, 2000 y Barrios *et al.*, 2001) y de habilitación de tepetates por medio de enmiendas (Velásquez *et al.*, 1997; Díaz, 2001 y García, 2001), se decidió estudiar el empleo de lodo biológico estabilizado con ácido peracético para habilitarlos. Los tepetates del municipio de Tetela del Volcán, Estado de Morelos fueron seleccionados como representativos de estos suelos.

Cabe destacar que a nivel nacional no se ha realizado la estabilización ácida de lodos biológicos y que a nivel mundial no se han empleado biosólidos para habilitar tepetates, lo cual da pie a suponer que esta tesis propondrá promover dos soluciones ambientalmente innovadoras.

OBJETIVOS, METAS E HIPÓTESIS.

TESIS CON
FALLA DE CUBRIR

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto de aplicar lodo biológico estabilizado con ácido peracético (APA) en el mejoramiento de la fertilidad de un tepetate fragmentado en condiciones de invernadero.

Objetivos Específicos

- Determinar la dosis recomendable de ácido peracético para estabilizar lodos biológicos.
- Evaluar el efecto de aplicar diversas tasas agronómicas del biosólido para habilitar el tepetate en términos de algunas de sus características fisicoquímicas (color, pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, y nitrógeno), y la modificación de su desarrollo (altura, peso y producción de flores), con una planta de interés para la región (cempasúchil).

METAS

- Producir biosólidos, que cumplan con la NOM-004-SEMARNAT-2002 sobre la generación uso y disposición de biosólidos
- Elaborar un modelo de desinfección con base en las distintas dosis de APA para un tiempo de contacto constante.
- Encontrar cómo generar una torta de biosólidos manejable, transportable y aplicable al tepetate
- Incrementar la fertilidad del tepetate mediante la aplicación de lodos biológicos estabilizados con ácido peracético para habilitar su capacidad productiva y promover la futura formación de suelo.

HIPÓTESIS

- El APA es capaz de producir biosólidos que cumplan con la NOM-004-SEMARNAT-2002, para su reúso como mejoradores de suelo.
- Los biosólidos estabilizados con ácido peracético incrementan la fertilidad del tepetate fragmentado en condiciones de invernadero.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANTECEDENTES.

TESIS DE
FALLA DE ORIGEN

1 ANTECEDENTES

1.1 Problemática de los lodos

Se estima que en Latinoamérica menos del 5% de los lodos que se producen son tratados, ya que el tratamiento de lodos aún no es un proceso del todo difundido y mucho menos aplicado (Jiménez *et al.*, 2002). Para las plantas de tratamiento de aguas residuales, el principal objetivo es concentrar los sólidos mediante la máxima remoción de agua posible con el fin de facilitar el manejo, almacenamiento y transporte de los lodos, más que su tratamiento. Por otra parte, la aplicación y el depósito de los lodos requiere conocer sus características para evitar alteraciones al medio ambiente así como afectaciones a la salud.

Por otro lado, desde el punto de salud, los lodos contienen bacterias, virus, protozoarios y helmintos patógenos, los cuales causan enfermedades (Tabla 1.1) y representan un riesgo para animales incluyendo a los humanos. También, pueden contener metales pesados, si el lodo proviene de un efluente industrial. Por lo general, en México, a diferencia de Canadá, Estados Unidos y Europa, son mínimos los problemas por metales pesados en lodos provenientes de agua residual doméstica, pero los patógenos representan el principal problema, ya que hay concentraciones tan altas como las que se presentan en países extremadamente pobres como Ghana o Egipto (Barrios *et al.*, 2001; Hall, 2000 y Jiménez *et al.*, 2001).

Tabla 1.1 Organismos presentes en lodos y sus posibles enfermedades

(modificado de USEPA, 1994).

Patogenia y Enfermedad		
Grupo	Género	Enfermedad
Bacterias	<i>Salmonella</i> <i>Shigella</i> <i>Escherichia</i> <i>Vibrio</i> <i>Clostridium</i> <i>Leptospira</i> <i>Mycobacterium</i>	Tifus, paratífus y enteritis Disentería, paradisenteria Enteritis Cólera, paracólera y enteritis Gangrena, tétanos y botulismo Leptospirosis Tuberculosis y tuberculosis atípica
Virus	Poliovirus Coxsackievirus A Coxsackievirus B Echovirus Adenovirus Rotavirus Reovirus Hepatitis A	Poliomelitis y enteritis Dolor de cabeza y muscular Náuseas y meningitis Diarreas y hepatitis Fiebre, infecciones respiratorias, Enteritis, conjuntivitis y afecciones nerviosas. Gastroenteritis infantil Gripe y diarreas hepatitis aguda y crónica
Protozoos, tremátodos, céstodos, nemátodos	<i>Entamoeba</i> <i>Giardia</i> <i>Schistosoma</i> <i>Taenia</i> <i>Ascaris</i> <i>Ancylostoma</i>	Disenteria amebiana Giardiasis Equistosomiasis Cisticercosis y neurocisticercosis Ascariasis Anquilostomiasis

Otro factor que se debe tomar en cuenta es el tiempo de sobrevivencia de los organismos, el cual se encuentra relacionado con las características fisiológicas y anatómicas de cada especie. Además de la resistencia a cambios en el ambiente como es el pH, la temperatura y la presión. En la Tabla 1.2, se observa que los microorganismos más resistentes y con la mayor tasa de supervivencia en diferentes ambientes (agua, suelo y vegetales) son los huevos de *Ascaris spp.*, los cuales pueden sobrevivir hasta seis años en el suelo. Todas las demás especies de la Tabla 1.2 sobreviven sólo hasta cuatro meses. Por lo general, en el ambiente en el que mejor sobreviven los organismos es el suelo, tal vez, debido a las condiciones de humedad, luz y temperatura que se tienen en el interior del mismo.

Tabla 1.2 Sobrevivencia de algunos organismos patógenos, en distintos medios.

Sobrevivencia de Organismos Patógenos		
ORGANISMO	MEDIO	TIEMPO DE SUPERVIVENCIA
<i>Ascaris</i> spp.	Vegetales	1 mes
	Suelo	2-7 años
Entamoeba histolytica	Vegetales	3 días
	Suelo	6-8 días
	Agua	2 meses
Mycobacterium tuberculosis	Suelo	6 meses
	Hierba	10-40 días
	Agua	1-3 meses
<i>Salmonella</i> (spp.)	Vegetales	3-4 días
	Suelo	0.5-9 meses
	Pastos	7 meses
	Hierba	> de 3 meses
<i>Salmonella Typhi</i>	Vegetales	10-53 días
	Lechuga	18-21 días
	Suelo	2-120 días
	Agua	3-4 meses
<i>Shigella</i> (spp.)	Vegetales	7 días
	Hierba	> de 1 mes
<i>Shigella sonnei</i>	Tomates	2-10 días
<i>Streptococcus faecalis</i>	Suelo	1-3 meses
<i>Vibrio cholerae</i>	Vegetales	5-14 días
<i>Vibrio comma</i>	Agua	1 mes
Poliovirus	Agua	>1 mes

(Hernández, 1998).

Otro problema criticado y conocido desde la antigüedad es el mal olor de los lodos. Esto se debe a las grandes concentraciones de material putrescible que contienen y a la generación de gases. Los compuestos que causan el olor desagradable son el sulfuro de hidrógeno, indoles, mercaptanos, sulfuros orgánicos, ácidos grasos volátiles, aminas y amonio (Sanabria, 2001).

Adicionalmente, se tiene el problema de la atracción de organismos vectores como insectos voladores y algunos mamíferos, lo que es molesto para los operadores y la gente que tiene contacto con ellos (Jiménez, 2001). Por esta razón los malos olores de los lodos limitan su aceptación por los agricultores y el público en general (Pike y Davis, 1984).

En México se estima que una vez que las ciudades con más de 50,000 habitantes (casi 140) cumplan con la regulación de la NOM-001-ECOL-1996 referente al tratamiento de aguas residuales, se producirán alrededor de 700, 000 toneladas secas de lodo por año. Una vez que esto se produzca, se necesitará de una estabilización adecuada para minimizar el impacto de su depósito a la tierra (Jiménez *et al.*, 2002).

Aproximadamente, el 50% del costo de operación de una planta de tratamiento de aguas residuales se utiliza en el tratamiento y el depósito final de los lodos (Hall, 2000). Por tal motivo, la aplicación de lodos en suelos, ya sea crudos o estabilizados, puede reducir significativamente los costos de manejo a la vez que sirve como enmienda y restaurador de suelos, al proveerlos de nutrimentos y materia orgánica.

Todo lo anterior conlleva a una problemática mundial e interdisciplinaria que está relacionada con aspectos técnicos, normativos, ecológicos, económicos y sociales. De ahí que si el lodo es estabilizado de manera adecuada, éste será posible reusarlo de manera benéfica.

1.2 Biosólidos

Debido a la relativa novedad respecto de la producción y manejo de los biosólidos, en este apartado se les definirá, junto con sus posibles clases, de acuerdo con el contenido de microorganismos y de contaminantes. Además, se describe la normatividad para el depósito y reúso de los biosólidos a nivel nacional e internacional.

1.2.1 Definición

En la NOM-004-SEMARNAT-2002 se define a los biosólidos como los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales que por su contenido de nutrimentos y por sus propias características adquiridas después de un proceso de estabilización son susceptibles de ser aprovechados. De acuerdo con la normatividad de México los biosólidos se clasifican en tres clases A, B y C (Tabla 1.3), en función del contenido de microorganismos patógenos. Respecto de la concentración de metales se dividen en tipo excelente y bueno (Tabla 1.4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Biosólidos Clase A

Esta clase de biosólidos no tienen restricciones para su aplicación en la agricultura o en jardines, debido a que la densidad de patógenos es menor al límite de detección (Tabla 1.3), además por sus características no atraen organismos vectores.

Biosólidos Clase B

Se pueden depositar en sitios con usos urbanos sin contacto público directo. Estos requerimientos se deben cumplir al momento del uso o depósito de los biosólidos, o bien, al momento de preparar el biosólido para su distribución (Tabla 1.3).

Biosólidos Clase C

Sus límites en concentraciones de organismos patógenos y metales pesados se muestran en las Tabla 1.3 y 1.4, respectivamente. Debido a la cantidad de patógenos permitida, la aplicación de biosólidos de clase C (Tabla 1.3) no se permite aplicarlos a cultivos que sean ingeridos por humanos y animales, así como en los sitios con contacto público. Su aplicación debe ser a granel en suelos agrícolas y forestales que estén en restauración. Estos biosólidos deben ser cubiertos si se colocan de forma superficial (Jiménez, 2001).

Tabla 1.3 Límites máximos permisibles de microorganismo de la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

- Huevos de helmintos viables
- NMP número más probable, Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002.

Tabla 1.4 Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.

Contaminante	Excelente	Bueno
	mg/kg en base seca	
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

Fuente: (NOM-004-SEMARNAT-2002).

La frecuencia de muestreo y análisis para los lodos y biosólidos se realizará, según la NOM-004-SEMARNAT-2002, en función del volumen de lodos generados como se establece en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos.

Volumen generado por año (ton/año) en base seca	Frecuencia de muestreo y análisis	Parámetros por determinar
Hasta 1500	Una vez al año	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 1 500 y hasta 15 000	Una vez por semestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 15 000	Una vez por trimestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos

Fuente: (NOM-004-SEMARNAT-2002).

1.3 Normatividad asociada a lodos y biosólidos

La legislación concerniente al uso y depósito de lodos varía drásticamente entre países. Existen diversos factores que explican estas diferencias de opinión, como lo son: los factores climáticos, la fauna, la disponibilidad de la tierra, la tasa de infección de la población, la industria así como los factores económicos, políticos y sociales. Además, incluso en los países más desarrollados la normatividad es relativamente reciente y por ello se encuentra en constante cambio (Bruce, 1984).

1.3.1 En México

Actualmente, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales acaba de publicar la Norma Oficial Mexicana, NOM-004-SEMARNAT-2002, referente a la protección ambiental -lodos y biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final-. Esta norma está basada en la normatividad estadounidense (USEPA 503). Los límites para clasificación y aprovechamiento de biosólidos ya fueron descritos en el punto de definición de biosólidos (1.2.1 y Tabla 1.4).

1.3.2 En Estados Unidos

A nivel mundial, una de las legislaciones más completas con respecto al uso y depósito de lodos es la de la Agencia de Protección Ambiental (*United States Environmental Protection Agency*, USEPA), de los Estados Unidos. En la década de los 70's, la USEPA, los generadores de lodos municipales, las agencias regulatorias locales, los consultores ambientales, las organizaciones ambientales profesionales y los científicos, evaluaron el impacto sobre la salud y el ambiente que causan el manejo y depósito de los lodos residuales. Estos esfuerzos culminaron en una Norma del Capítulo 40 del Reglamento del Código Federal (CFR), dada a conocer el 6 de febrero de 1989. Esta reglamentación se conoce como el *Apartado 503 "Estándares para el Uso o Depósito de Lodos Residuales"*. El documento se caracteriza por tener criterios que facilitan la aceptación del uso de los biosólidos sin poner en riesgo la salud pública y el ambiente (USEPA, 1996).

La USEPA define a un biosólidos como el producto sólido orgánico proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales que puede ser reciclado con fines benéficos (*The National Academy of Sciences*, 2002). En la Tabla 1.5. se especifican los límites máximos permisibles de microorganismos en las dos clases de biosólidos existentes (A y B). La diferencia que existe entre esta normatividad y la mexicana, se debe al alto contenido de microorganismos que existen en nuestro país que imposibilitan alcanzar en términos económicos la clase A, de EUA dado el nivel actual de salud.

Tabla 1.6. Límites máximos permisibles de microorganismos de la USEPA.

Parámetro microbiológico y usos	USEPA 503	
	A	B
Coliformes fecales	< 1000 NMP/g TS	< 2 X 10 ⁶ NMP/g TS
<i>Salmonella spp.</i>	< 3 NMP/4g ST	-
Huevos de helmintos	< 1 huevo/4g ST	-
Usos benéficos	Agricultura	Mejorador de suelos

Fuente: USEPA, (1996)

Biosólidos Clase Excepcional (CE) de la USEPA

Son los biosólidos clase A que además contienen muy baja concentración de elementos químicos contaminantes (Tabla 1.4) y bajo potencial para atraer organismos vectores y no tienen ninguna restricción para su uso o depósito (Jiménez, 2001).

Biosólidos con base en la concentración permitida de contaminantes (CC) de la USEPA

Son biosólidos clase B que también cumplen con los criterios de la Tabla 1.4

El apartado 503 de la USEPA propone varios procesos para producir biosólidos en función del propósito de depósito final de los mismos sea "A" o "B". Para la clase "A", se acepta:

- Tratamiento térmico de biosólidos.
- Tratamiento de biosólidos en procesos con pH alto, temperatura alta y secado por aire.
- Tratamiento de biosólidos con procesos de reducción adicional de patógenos PFRP (*Processes that Further Reduce Pathogens*).

Dentro de estos procesos se tiene: la producción de composta, secado por calor, tratamiento por calor, digestión aerobia termofílica, irradiación con rayos beta, irradiación con rayos gama y pasteurización (USEPA, 1999).

Para la clase "B", la eliminación de patógenos deseada se acepta si se usa:

- Un proceso diferente a los señalados, pero se monitorean los organismos indicadores por dos semanas antes de su depósito. Los coliformes fecales deben estar en niveles menores a dos millones número más probable por gramo de sólidos totales por peso seco.
- Algún tratamiento que reduzca significativamente los patógenos (*Processes that Significantly Reduce Pathogens*).

Los procesos para producir biosólidos clase "B", son: la digestión aerobia y anaerobia, el secado por aire, la producción de composta sin un estricto control de la temperatura, y la estabilización con cal. Adicionalmente, para los biosólidos clase B hay restricciones, en cuanto al sitio de aplicación dependiendo del tipo de cultivos o exposición pública. Los tiempos permitidos para cosechas o acceso al público varían de treinta días a dos años después de la aplicación de los biosólidos.

1.4 Uso de los biosólidos

La importancia o el interés del uso de los biosólidos radica en su reúso siempre y cuando haya una relación costo-beneficio tanto para los productores como con los consumidores de los productos agrícolas, que se nutren a partir de biosólidos. De acuerdo con Jiménez (2001), existen dos tipos de sitios donde los biosólidos pueden utilizarse benéficamente (Tabla 1.6).

Tabla 1.6 Depósito de lodos y opciones de reúso en sitios con y sin contacto público.

Sitios de depósito	Usos
1. Sitios con contacto público	Terrenos agrícolas (pastizales y cultivos)
	Bosques
	Rellenos sanitarios
	Suelos degradados y erosionados
	Producción de composta
2. Sitios sin contacto público	Áreas de remediación (campos minados, minas, construcción)
	Invernaderos (sobre todo en plantas de ornato)
	Cementerios (en los jardines y para la elaboración de tumbas)
	Carreteras
	Zonas recreativas (parques de diversiones, deportivos y centros comerciales).
3. Reutilización	Jardines caseros
	Recuperación de energía (producción de petróleo y biogas)
	Recuperación de productos minerales o reúso industrial del lodo (cemento, grava, azulejos, carbón, mármol, ladrillos, abrasivos y material de joyería).

Fuentes: Bontoux *et al.*, (1991), Lue-Hing, (1992), Metcalf y Eddy, (1995), Girovich, (1996), Okuno, (2001), Endo *et al.*, (2001) y Joo *et al.*, (2002).

1.4.1 Papel de biosólidos como mejoradores de suelo

El interés por aplicar lodo al suelo ha aumentado en los últimos años como consecuencia de la menor disponibilidad y viabilidad de otras opciones de manejo y depósito como son el confinamiento en rellenos sanitarios, la incineración y el vertido al mar. Además, se promueve la disminución del uso de fertilizantes químicos inorgánicos, se favorece el uso del biosólido ya que libera los nutrimentos de forma más lenta, directa y asimilable para las plantas (Sanabria, 2001). El reciclaje de lodos en la agricultura y remediación de suelos de acuerdo con Sequi *et al.*, 2000, se considera una alternativa sustentable debido a que garantiza simultáneamente:

- La conservación del ambiente, mientras permita la productividad de forma duradera.
- La seguridad completa de los operadores y los agricultores, así como las condiciones higiénicas y sanitarias para los consumidores.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Inversiones económicamente convenientes, ya que se ahorra el uso de nutrimentos minerales a través del reemplazo de fertilizantes.

Para determinar la contribución real a la fertilidad del suelo, se debe cuantificar la contribución del lodo a la fertilidad de forma física, química y biológica (Sequi *et al.*, 2000).

Fertilidad Física: las mejoras se reflejan en la estructura del suelo (en su agregación), la capacidad de intercambio catiónico total (CICT), la capacidad de retención de agua, el color, la porosidad y la permeabilidad (Cochran *et al.*, 1997). El biosólido es capaz de reducir el porcentaje de erosión, incrementar la retención de agua y reducir la compactación y/o cementación del suelo (Sanabria, 2001).

Fertilidad Química: Las características más importantes que modifican los biosólidos son el contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, el pH, los metales y el carbono. Estas características juegan un papel sumamente importante en la determinación del valor agronómico que brindan los biosólidos al aplicarse en suelos, pues afectan directamente la fertilidad del mismo. La lenta liberación de los nutrimentos y la materia orgánica del biosólido es responsable del incremento de la productividad de los cultivos en los años subsecuentes

Fertilidad Biológica: Los lodos representan un sustrato adecuado para el crecimiento de varios grupos microbiológicos (Benedetti, 1995). El alto contenido de microorganismos saprófitos en el lodo representa un suministro mineralizable de carbón orgánico y de nitrógeno para el suelo. Así como también los subproductos de los microorganismos como el CO₂, NH₄, SO₄, y PO₄ de la mineralización de la materia orgánica.

Así mismo, la calidad de los biosólidos debe ser monitoreada regularmente. Se deben analizar los nutrimentos, metales pesados, microorganismos indicadores, contenido de sólidos, compuestos orgánicos, contenido de materia orgánica y pH, entre otros.

1.4.2 Propiedades útiles del biosólido.

En 1996, el Comité para el uso y tratamiento de agua residual y lodos municipales en la producción de cultivos para consumo humano, (*Committee on the use of treated municipal wastewater effluents*

and sludge in the production of crops for human consumption 1996), demostró que las concentraciones de nitrógeno, fósforo total y calcio son significativamente más altas que las de un abono animal común (Tabla 1.7).

Tabla 1.7 Nutrientes presentes en los biosólidos.

Nutriente	Unidades	Lodo	Abono animal	
N Total	(% B.S.)	<0.1-17.6	1.7-7.8	
P Total		<0.1-14.3	0.3-2.3	
K ₂ O		0.48	2.8	
Ca		0.1-25	0.3-8.1	
Mg		0.03-2.0	0.29-0.63	
Na		0.01-3.1	0.07-0.85	
Fe		<0.1-15.3	0.02-0.13	
Al		0.1-13.5	0.03-0.09	
Zn		(mg/kg)	101-27800	56-215
Ba			21-8980	26
C	33.5		36.2	
Cu	6.3-3120		16-105	

Fuente: (Committee on the Use of Treated Municipal Wastewater Effluents and Sludge in the Production of Crops for Human Consumption, 1996).

En la Tabla 1.8 se observa la composición química de un lodo biológico típico, en la que el pH neutro, el valioso contenido de materia orgánica y de macronutrientes (N, P y K). Resalta su importancia como mejoradores y/o restauradores de suelos. Por sus características los biosólidos pueden fungir como sustitutos de abonos o fertilizantes.

Tabla 1.8 Composición química de un lodo biológico típico.

pH	Humedad (%)	Materia Orgánica (%)	N Total (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
6.5 - 7.5	97 - 98	30-80	2.4 - 6.0	2.8 - 7.0	0.40 - 0.70

(con datos de Metcalf y Eddy, 1995).

1.4.3 Beneficios de la aplicación de biosólidos en sitios degradados

Las características de los sitios que presentan algún tipo de degradación varían considerablemente de un lugar a otro. Estas tierras representan un ambiente no favorable para el desarrollo de la vegetación, comúnmente por la carencia de nutrimentos, materia orgánica, baja retención de humedad, baja infiltración, baja permeabilidad y en las características físicas y biológicas deficientes.

La recuperación de estas tierras se realiza con el propósito de reducir la erosión y facilitar la reintegración de las condiciones naturales del suelo. Una de las técnicas de habilitación más comunes es el acolchado o implantación de una cubierta natural o artificial sobre la superficie del suelo. La cobertura hecha por el lodo, protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, del efecto del viento, reduce la ruptura de agregados, el encostramiento y el riesgo de erosión. Además, el acolchado incrementa la infiltración del agua en el suelo, lo que en definitiva conduce a un aumento en la eficiencia del uso del agua por los cultivos (Unidad de Suelos y Riesgos, 2002).

Entre las ventajas de aplicar biosólidos en sitios degradados, de acuerdo con la USEPA, (1995); se puede mencionar que:

- mejoran las propiedades físicas del suelo como la textura, se reduce la plasticidad y la cohesión y se incrementa la capacidad de retención de humedad, por la materia orgánica presente en el lodo.
- incrementan la capacidad de intercambio catiónico total
- proveen de nutrimentos esenciales como el N, P y K.
- logran el rejuvenecimiento de las poblaciones microbianas y su actividad.
- no se corre riesgo alguno de contacto público, ya que por lo general las zonas erosionadas se encuentran localizadas en zonas rurales y aisladas.

Estos beneficios se relacionan con el hecho de que la restauración por medio de biosólidos ofrece un alto potencial de incrementar o promover un futuro uso agroforestal (Lue-Hing, 1992). Estudios realizados por Shaan *et al.*, (1996), y Wong *et al.*, (1998) comprobaron que la aplicación del

biosólido incrementó de manera significativa la materia orgánica, el calcio intercambiable, el fósforo disponible y la CICT, así como otros cationes disponibles.

Las principales desventajas de la aplicación de biosólidos en sitios degradados, son:

- El transporte se vuelve difícil y costoso, ya que por lo general, las plantas de tratamiento de aguas residuales se encuentran alejadas de los sitios erosionados.
- No existe una total aceptación social del biosólido, debido principalmente al contenido de patógenos y contaminantes.

1.4.4 Manejo y aplicación de biosólidos

Los elementos que se deben considerar para llevar a cabo un manejo adecuado por lo regular, dependen principalmente del contenido de humedad del lodo. El manejo se puede dividir en:

- Transporte: depende de la cantidad de lodo a transportar, de la distancia al sitio de depósito, del camino para llegar al sitio y del tiempo de vida estimada del lodo. Los vehículos de transporte incluyen: tubería, camión, pipa y tren. El transporte debe tener cubiertas para evitar los derrames, la generación de malos olores y el contacto del lodo con el agua.
- Almacenamiento: suele ser necesario para guardar el lodo cuando las cantidades producidas rebasan los límites de las cantidades que se pueden reusar o aplicar rápidamente, el almacenamiento puede ser *in-situ* o *ex-situ* (Metcalf y Eddy, 1995).

La aplicación depende de varios factores. Al igual que en el caso anterior, el contenido de humedad es un factor relevante pero también lo son el contenido de microorganismos patógenos y los olores (Lue-Hing, 1992 y Sequi *et al.*, 2000). En la aplicación importa:

- Las condiciones climáticas: la temperatura y la precipitación son las más importantes ya que es difícil y en ocasiones incluso prohibido aplicar lodo, por ejemplo, en zonas inundadas, con nieve, etc.

- La topografía afecta el potencial de erosión y escorrentía superficial del lodo aplicado. Además, puede afectar al funcionamiento de los equipos de transporte y aplicación.
- El suelo: en general, los suelos más apropiados para la aplicación de lodos son los que tienen una permeabilidad baja, que sean de moderadamente a bien drenados, de alcalinos a neutros para que permitan el control de la solubilidad de metales y que no tengan un nivel freático alto.
- Incorporar el biosólido a una profundidad promedio de al menos 20 cm (existen excepciones para 10 cm en suelos muy compactos)
- Aplicar el biosólido en los primeros siete días desde su llegada al sitio, para evitar quejas públicas y atracción de organismos vectores.

En la Tabla 1.9 se muestran distancias límites para crear la zona de amortiguamiento para la aplicación de lodos en los diferentes sitios de depósito.

Tabla 1.9 Distancia límite de aplicación de lodos en distintos sitios de disposición.

Lugar	Distancia mínima (m)
Gasolineras o pozos petroleros	183
Camino público o carretera	0
Edificio público	183
Pozos de agua potable	183
Cuerpos de agua de propiedad nacional	46

Fuente: USEPA, 1995.

1.4.5 Tasas de aplicación del biosólido

Para determinar de forma correcta la cantidad de biosólido a aplicar se debe:

- Analizar las características edafológicas y climatológicas del sitio
- Calcular la tasa de aplicación de metales del lodo para no sobrepasar el límite máximo permitido.
- Conocer la cantidad de nutrimentos (en especial N, P y K), que requiere la especie vegetal a sembrar.

1.4.5.1 Tasas de aplicación de acuerdo al tipo de uso de suelo

Dependiendo del beneficio en cuanto al uso de suelo que se desee obtener, existen diferentes tasas de aplicación recomendadas por la literatura. La diferencia principal en cuanto a la aplicación de lodos en suelos con fines agrícolas y la aplicación para sitios degradados radica en que para estos últimos el objetivo es establecer especies vegetales a largo plazo por lo que se incrementa a más del doble la tasa agronómica (Lue-Hing, 1992; Spinosa y Vesilind, 2001). La Tabla 1.10 señala las distintas tasas agronómicas en función del uso y de suelos, el intervalo es bastante amplio y fluctúa de 2.5 a 900 (ton secas/ha).

Tabla 1.10 Tasas de aplicación de biosólidos en las diferentes opciones de uso del suelo.

Opción para la aplicación al suelo	Período de aplicación	Tasa agronómica para restauración de suelos (ton secas/Ha)	
		Intervalo	Valor Típico
Uso agrícola	Anual	2.5-67.5	11.25
Uso Forestal	Único período de aplicación de 3 a 5 años	9-225	45
Recuperación de suelos	Única aplicación	6.75-450	112.5
Terrenos destinados a la evacuación del lodo	Anual	225-900	337.5

Fuente: Metcalf & Eddy, (1995).

1.4.5.2 Tasas de aplicación para restauración de suelos

La Tabla 1.11 contiene algunas de las tasas agronómicas utilizadas para la restauración y recuperación de sitios marginados. El intervalo fluctúa de 7 a 585 ton secas/ha. El hacer una o dos aplicaciones, depende de que haya o no capa superficial de suelo, cuando existe se realiza una sola aplicación.

Tabla 1.11 Tasas agronómicas recomendadas para la restauración de suelos perturbados.

Tasa agronómica para restauración de suelos (ton secas/ha)	Fuente
7-450	USEPA, 1995 y Metcalf & Eddy, 1995.
146-224	USEPA, 1997
200-400	Girovich, 1996
547-585	Lue-Hing, 1992

1.4.5.3 Cálculo de la tasa de aplicación del biosólido

Para determinar la cantidad de biosólido por aplicar, se realizan dos cálculos que consideran:

- a) La concentración de metales pesados en el biosólido
- b) El contenido de nutrimentos en el biosólido

Por lo general, la tasa de aplicación para sitios erosionados se determina a partir de la carga máxima de contaminantes metales pesados recomendada por la USEPA, 1994a (Tabla 1.12). Debido a que regularmente son sitios alejados y que carecen de vegetación.

Tabla 1.12 Límites de metales pesados en suelos.

Parámetros	Límite de metales para suelos (kg/ha)
Arsénico	41
Cadmio	39
Cobre	1500
Mercurio	17
Níquel	420
Plomo	300
Zinc	2800

Fuente: USEPA, 1994a.

Otro factor que puede ser utilizado para determinar la tasa de aplicación para sitios degradados es la demanda de nutrimentos de las plantas que se encuentran o que se encontraban en el sitio, o bien de las especies vegetales que se planea establecer en él. Usualmente se toma al nitrógeno por ser el macronutriente principal (Lue-Hing, 1992). Pero por ser una tasa de aplicación para restauración de suelos, se añade de cinco o hasta 10 veces más que la dosis normal (USEPA, 1994a).

1.4.6 Experiencias de la aplicación de biosólidos en suelos en México.

El concepto de biosólido es relativamente nuevo en México. A partir de 1995 en algunos estados como en Monterrey, Morelos, Distrito Federal, Ciudad Juárez y Toluca, se han comenzado a estudiar su aplicación. A manera de resumen la Tabla 1.13, presenta los principales resultados obtenidos en México al utilizar los biosólidos con fines agrícolas y/o de restauración, se observa que en todos los casos los resultados fueron positivos ya sea en términos de mejoras edafológicas o de la especie vegetal cultivada. Sobre todo en cuanto al aumento de la productividad, al contenido de materia orgánica, nutrimentos y a que por lo regular no se rebasa la concentración límite de metales pesados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 1.13 Estudios previos de la factibilidad de la aplicación de biosólidos en México.

Uso del biosólido	Tasa de aplicación (ton/ha)	Resultados	Lugar en la República Mexicana	Especie vegetal	Fuente
Mejorador de suelos y uso agrícola	4.5, 9 y 18	<ul style="list-style-type: none"> * se acidificó el pH * incremento la M.O y la CICT * no rebasaron los límites de metales * mejoró la producción del Crisantemo 	Edo. de México, Toluca	Crisantemo	Vaca <i>et al.</i> , 1998
Mejorador de suelos	-	<ul style="list-style-type: none"> * incrementó en la concentración de nitratos y la biomasa 	Distrito Federal	-	Franco <i>et al.</i> , 2000
	340	<ul style="list-style-type: none"> * disminuyó la salinidad * aumentó la lixiviación del sodio 	Distrito Federal	Algodón	García-Piña <i>et al.</i> , 2001
	175 y 175	<ul style="list-style-type: none"> * mejoró la estructura e incrementó la permeabilidad del suelo 	Distrito Federal	-	Murillo <i>et al.</i> , 2002
Reúso agrícola	-	<ul style="list-style-type: none"> * aumentó el N y P * no hay un incremento en la concentración de metales 	Distrito Federal	-	Cisneros <i>et al.</i> , 2000
	4	<ul style="list-style-type: none"> * aumentó en el crecimiento de la coliflor * aumentó en la concentración de metales, pero sin pasar el límite. 	Nuevo León, Monterrey	Coliflor	Martínez <i>et al.</i> , 2001
	4.5	<ul style="list-style-type: none"> * aumentó en el crecimiento del cultivo y en el contenido de M.O. 	Morelos	Frijol	Martín del Campo <i>et al.</i> , 2001

En la Tabla 1.13 también se observa que no se han realizado estudios para habilitar al tepetate, ni para la producción del Cempasúchil.

En la actualidad, en México, existen varias propuestas para reutilizar los biosólidos en suelos con fines agrícolas y de restauración. Como ejemplo de tales proyectos se tiene a la empresa norteamericana U.S. Filter (2002), la cual propone que los biosólidos de su PTAR de Cuernavaca Morelos, se reciclen como acondicionadores de suelos. En el Centro Ecológico Akum, en Quintana

Roo (2002) y el Centro de Manejo Integral de Residuos (CeMIR), tienen considerado establecer para el 2003 un programa de tratamiento y disposición de lodos en suelos después de su compostaje. El programa de saneamiento del Valle de México, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo, tiene entre sus objetivos el reducir la contaminación provocada por el agua y lodos residuales. Por lo cual, actualmente se están desarrollando propuestas que apliquen lodos estabilizados en suelos con fines de restauración.

Cabe mencionar que en México, la mayoría de los lodos que se producen son descargados al drenaje o en tiraderos sin tratamiento alguno. Debido a que el potencial benéfico de los lodos es prácticamente desconocido por los campesinos y agricultores, factor que dificulta el que se promuevan las técnicas de reúso y aplicación.

1.5 Procesos para producir biosólidos

En la actualidad cualquier proceso para producir biosólidos implica una mejora, ya sea temporal o permanente en las características físicoquímicas y/o microbiológicos de los lodos. Por ejemplo, produce una destrucción parcial de los sólidos, se mejoran sus características de fluido, se incrementa la concentración de nitrógeno soluble, se disminuye o se elimina el mal olor y se inactivan patógenos (Bruce, 1984). En la norma NOM-ECOL-004-2002, se define a esta serie de procesos como estabilización, refiriéndose a la serie de pasos físicos, químicos y biológicos a los que se someten los lodos, para acondicionarlos para su aprovechamiento o depósito final.

La estabilización surge debido a la importancia que tiene el reúso de los lodos en la agricultura, así como por su impacto negativo al ambiente, cuando se depositan crudos. La manera en la que se califica una estabilización adecuada del lodo, es muy subjetiva, pues la "estabilidad" no puede ser medida por un método estándar universal. Hartenstein (1981), propuso que para que un lodo esté completamente estabilizado, debe de estar "humificado", lo cual significa que ya no sea putrefacto y oloroso aún cuando haya una degradación posterior lenta. En contraste la Directiva Europea de la agricultura, menciona que un lodo está estabilizado, cuando ha sido sometido a un tratamiento biológico o químico (Working Document on Sludge 3rd Draft, 2001).

Dentro de las opciones de estabilización (Figura 1.1) existen los procesos convencionales (digestión aerobia, y anaerobia, elaboración de composta y estabilización alcalina) y los no convencionales (irradiación, procesos térmicos y tratamiento ácido). Éstos últimos incluyen tratamientos que no han sido del todo estudiados y los cuales no aplican formal o frecuentemente a nivel industrial. Dentro de estos tratamientos se incluye la estabilización ácida, de la cual se han reportado estudios con el uso de ácidos desde la década de los 70's empleando principalmente ácido sulfúrico, clorhídrico, acético, peracético y propiónico (Fraser *et al.*, 1984 y Barrios, 2000).

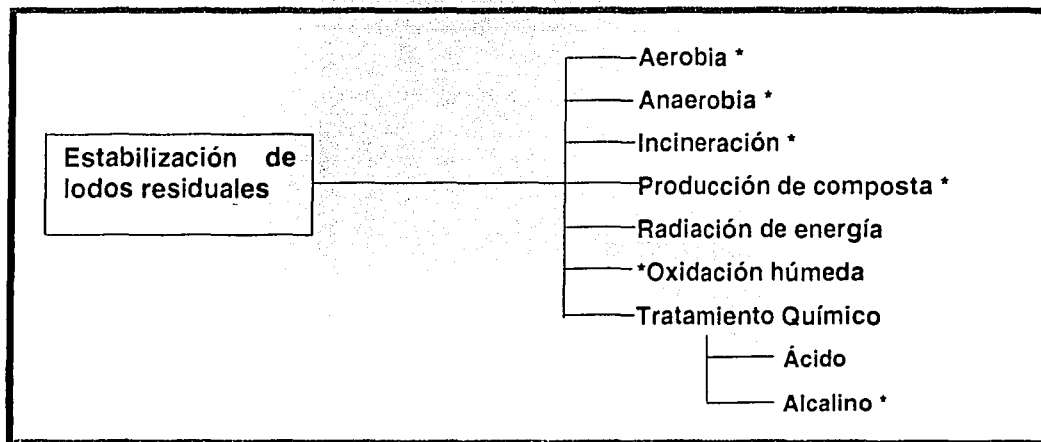


Figura 1.1. Métodos de estabilización tradicionales * y no tradicionales.

1.5.1 Procesos tradicionales

Se entiende por proceso de estabilización tradicional a todo aquél método que ha sido probado a pequeña y gran escala y aceptado por la norma 503 de la USEPA, incluyen:

- La **estabilización con cal** consiste en aplicar al lodo dosis suficientes de cal para elevar el pH a alrededor de 12 unidades en el lodo durante el tiempo de contacto necesario (2 h), para crear un medio fuertemente alcalino desfavorable para la actividad de los microorganismos. Las dosis de cal varían de 80 a 300 kg Ca(OH)₂/tonST.

Ventajas

- La cal es un producto muy accesible y no es costoso

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- El pH >12 unidades reduce el contenido de patógenos, por lo que puede crear biosólidos clase A, conforme a la USEPA 503.
- El biosólido puede ser usado para la restauración de suelos ácidos

Desventajas

- Incrementa el volumen del lodo hasta en un 25%
- Tiempo de contacto largo (> 10 días)

b) La **digestión anaerobia** es un proceso de degradación biológica de materia orgánica que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y por la cual se producen metano y dióxido de carbono. Existen básicamente dos variantes de digestores anaerobios identificados como mesofílicos (30-38°C) y termofílicos (49-57 °C). Los termofílicos presentan algunas ventajas sobre los mesofílicos, debido a que incrementan las tasas de producción de metano, la inactivación de patógenos (usualmente alcanzan la clase A de la USEPA), reducen la viscosidad del fluido y la producción de biomasa. Sin embargo, su costo y dificultad de operación han limitado su aplicación en la práctica.

Ventajas

- Produce biogas como fuente de energía
- Reduce la masa y el volumen del lodo (destrucción de sólidos de 25-50%)

Desventajas

- Costos de inversión altos
- Tiempos de retención largos (> 10días)
- Operación compleja

- c) La **digestión aerobia** consiste en degradar los residuos de forma biológica en presencia de oxígeno con un tiempo de contacto de 10 a 20 días. Su operación es relativamente sencilla comparada con los sistemas anaerobios; no genera malos olores y forma un producto final biológicamente estable. Existen dos variantes de la digestión aerobia:
- La autotérmica que es capaz de eliminar del 70 al 100% la materia orgánica biodegradable y elimina un mayor número de bacterias y virus en tiempos de retención

cortos de 3 a 4 días, debido a que la temperatura se eleva de 55 a 65° C. Para soportar este proceso de digestión el lodo alimentado debe contener más del 3% de ST.

- La criofílica que se practica en zonas con climas extremadamente fríos en donde el proceso se lleva a cabo a temperaturas de menos 20°C (Metcalf y Eddy, 1995).

Ventajas

- Puede proveer la temperatura/tiempo de exposición para producir biosólidos clase A de la USEPA
- Reduce significativamente el contenido de sólidos volátiles
- El equipo mecánico es relativamente simple de operar y mantener
- Puede desaguar del 25-30% de sólidos

Desventajas

- Emite gases olorosos que requieren un post tratamiento
- Los biosólidos obtenidos deben ser espesados al 4 o 6% ST
- Se requiere de la adición de polímeros para su acondicionamiento

d) La incineración elimina los olores, oxida la materia orgánica y destruye todos los patógenos. La composición del lodo es una variable importante en este proceso, no sólo en cuanto a su valor calorífico (kJ/kg de sólidos secos), sino también en la concentración de metales pesados.

Ventajas

- El lodo es prácticamente eliminado, al quedar sólo cenizas fáciles de manejar

Desventajas

- Proceso costoso
- Ciertos contaminantes pueden ser emitidos en los gases de combustión y crear problemas en la calidad del aire.
- Las propiedades benéficas de los lodos no son aprovechadas en los suelos.

e) La producción de composta es la degradación aerobia de materia orgánica, con un contenido de humedad limitado. Esta se lleva a cabo en lodos con 80% de humedad y el oxígeno es suministrado por agitación o por venteo a través de la masa de lodo. En este

último caso es necesario agregar agentes que eviten el apelmazamiento de lodos con el objetivo de proveer intersticios para el flujo de aire. La producción de composta es un proceso aerobio y por tanto, es una operación exotérmica, por lo que el calor generado (50 a 70 °C), provoca la destrucción de organismos patógenos.

Ventajas

- El producto puede ser almacenado, sin problemas
- El producto puede ser potencialmente comercializado
- Se puede combinar con otros procesos de estabilización
- El proceso no es costoso comparado con otros procesos como la incineración

Desventajas

- Requiere del 18 al 30% del desaguado del lodo
- Requiere muchas superficie de terreno
- Producción de bio-aerosoles y malos olores durante el proceso

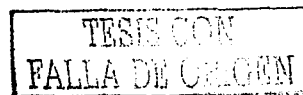
De los tratamientos anteriores, los más comunes para la estabilización de lodos son la digestión anaerobia y la estabilización con cal (Spinosa y Vesilind, 2001).

1.5.2 Procesos no tradicionales

Un proceso de estabilización de lodos no-tradicional es aquel que ha sido aplicado a escala de laboratorio o piloto y se considera con un alto potencial de empleo industrial. Generalmente, tienen además alguna ventaja técnica, económica y/o sustentable (WEF, 1995). Estos procesos pueden producir biosólidos Clase A de acuerdo con la USEPA 503. Entre los procesos no convencionales de estabilización de biosólidos, se encuentran los siguientes:

- a) El uso de **radiación de energía** es eficiente para la destrucción de patógenos, pero no degrada la materia orgánica en lodos. Se emplean dos tipos de radiación: beta y gamma, los cuales dañan el DNA y RNA de los microorganismos, así como con reacciones de oxidación y disociación (Lue-Hing *et al.*, 1998).

Ventajas



- Alta eliminación de microorganismos patógenos

Desventajas

- Costoso
- Posee un alto riesgo asociado por radiación.

- b) El proceso de pasteurización de lodos, consiste en mezclar el lodo con amoníaco para elevar el pH a 11.5 en un reactor durante una hora para eliminar los parásitos, bacterias y virus. Posteriormente se adiciona ácido fosfórico lo que produce una reacción exotérmica que eleva la temperatura de 65 a 70°C en 2 minutos, lo que elimina los patógenos restantes (Metcalf y Eddy, 1995; Spinosa y Vesilind, 2001).

Ventaja

- Alta eliminación de patógenos

Desventajas

- Los lodos que se adicionen al proceso deben contener del 4 al 8% de sólidos totales
 - Inversiones muy altas de energía comparando con otros procesos
- c) Los procesos de oxidación o tratamiento con calor, que oxida materiales orgánicos y genera un subproducto libre de patógenos y sólidos inertes que pueden ser reciclados. Los metales pesados solubles en el sobrenadante son convertidos a óxido de metales sólidos y estables, que son fácilmente separados.
- d) La estabilización química, emplea: el ácido peracético, el sulfúrico, la formalina, compuestos amoniacales, hipoclorito de sodio, nitrato de sodio, ozono, permanganato de potasio, ferrato de potasio, peróxido de hidrógeno y ácido nítrico. Estos compuestos han obtenido resultados de desinfección alentadores lo que los coloca como nuevas alternativas para la estabilización industrial de lodos (Godfree *et al.*, 1984; Cortion *et al.*, 1999 y De Luca *et al.*, 1996).

Ventajas

- Eficiencias de remoción de patógenos superiores al 90%
- Simplicidad de operación

- No se incrementa el volumen final de lodos

Desventajas

- No han sido probados a gran escala
- Algunas veces costosos comparados con la cal

En cuanto la remoción de microorganismos, los procesos presentan distintas eficiencias de desinfección, lo que en países subdesarrollados puede significar la clave en la elección del proceso, debido a las altas concentraciones presentes en los lodos. En la Tabla 1.14 se presentan los intervalos de remoción en unidades logarítmicas de los principales procesos de estabilización para bacterias y parásitos. Se observa que en términos generales el proceso que remueve la mayor cantidad de microorganismos es la producción de composta, con un mínimo de dos unidades logarítmicas para bacterias, virus y parásitos. Este último tipo de microorganismo, resulta ser el más difícil de remover y los procesos de digestión y de estabilización con cal, presentan eficiencias muy bajas de 0.5 unidades log. La Tabla 1.14 también resalta la necesidad de probar nuevos procesos no tradicionales para alcanzar mayores eficiencias de patógenos.

Tabla 1.14. Remoción de microorganismos por medio de distintos procesos de estabilización (Barber, 2001).

Proceso de estabilización	Bacterias	Virus	Parásitos
	(unidades logarítmicas)		
Digestión aerobia	0.5-4.0	0.5-2.0	0.5
Digestión anaerobia	0.5-4.0	0.5-2.0	0.5
Producción de composta	2.0-4.0	2.0-4.0	2.0-4.0
Secado con aire	0.5-4.0	0.5-2.0	0.5-4.0
Estabilización con cal	0.5-4.0	4.0	0.5

De los procesos no tradicionales destaca el ácido peracético (APA), ya que en estudios en donde se compara con otros ácidos orgánicos resulta ser el que obtuvo las mejores eficiencias como desinfectante (Jiménez *et al.*, 2001). Es por esto, que en esta investigación se eligió el citado ácido como método de estabilización. A continuación se describen sus principales características, ventajas

y desventajas. Así como, el mecanismo de desinfección y algunas experiencias relevantes en la desinfección de efluentes residuales.

1.6 Ácido peracético (APA)

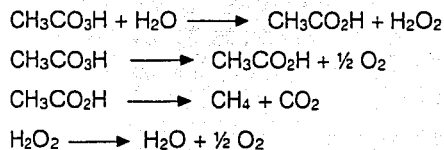
El APA se identificó químicamente a finales del siglo XIX. Su producción industrial inició en 1910 mediante la reacción del peróxido de hidrógeno con anhídrido acético. Es una mezcla de ácido acético, agua y peróxido de hidrógeno ($\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$) que se usa como desinfectante en la industria alimenticia y médica, en el tratamiento de aguas residuales y escasamente para el tratamiento de lodos (Fraser *et al.*, 1984; Morris, 1993; Shaan *et al.*, 1996; Solvay Interlox, 1997; Jiménez *et al.*, 2001). Desde la década de los 80's los investigadores han usado el APA para tratar aguas residuales (Colgan y Gehr, 2001).

1.6.1 Generalidades

La fórmula general del APA es $\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$ y su formación está dada por la reacción:



Las rutas de descomposición de acuerdo con Fraser *et al.* (1984), son las siguientes:



Los productos de degradación formados por la hidrólisis son el ácido acético y el agua oxigenada, ambos fácilmente biodegradables (Colgan y Gerh, 2001). Incluso en el listado de residuos peligrosos de la normatividad mexicana, no existe una mención específica sobre el ácido peracético. La *U.S. National Library of Medicine* (2002), menciona que el APA ha demostrado ser biodegradable en agua y suelo.

1.6.2 Usos y beneficios

En 1970 el APA empieza a usarse con éxito en la asepsia de circuitos en cerveceras y centrales lecheras. El uso del APA se generaliza al poder emplear soluciones diluidas, fáciles y seguras de manejar. En la actualidad, el APA es un producto habitual en cualquier circunstancia en que se requiera un control microbiológico. En la década de los 90's su uso se diversificó en más de 30 aplicaciones diferentes (Tabla 1.15). Cabe señalar que todos los usos de éste producto, independientemente de la empresa o industria que lo ocupe es como agente biocida o bien como desinfectante.

Tabla 1.15 Usos del Ácido Peracético.

Industria	Usos
Medicina	En farmacia como antiséptico y oxidante. En la esterilización, diálisis, cirugía de trasplantes, e instrumental médico
Alimentación	Cerveceras, centrales lecheras, desinfección de almidón, de alimento animal y de azúcar; lavado de verduras, huevos y botellas; aditivo en desinfección de alimentos, procesamiento de carne, limpieza de dispensadores de bebidas y de circuitos
Sanidad animal	Desinfección de superficies clínicas veterinarias y de ordeñadoras
Agricultura y horticultura	Desinfección de superficies, de lechos de arena, potenciador de crecimiento y agua de riego; protección de cosechas y de bulbos
Medio ambiente	Desinfección de aguas residuales, de lodos y control de la <i>Legionella</i>
Industria química	Polimerización y activador de la oxidación de hidrocarburos
Textiles	Blanqueador de telas sintéticas, sustituto de los blanqueadores a base de hipoclorito
Pasta y papel	Biocida y desinfectante en la manufactura
Varios	Lavandería industrial, desinfectante de albercas, superficies y como fuente de oxígeno

Fuentes: Rajalà *et al.*, 1997 y Solvay Interlox, 1997.

Entre sus características más atractivas como desinfectante se encuentran las siguientes (Fraser *et al.*, 1984; Morris, 1993; Shaan *et al.*, 1996; Baldry *et al.*, 1995; Solvay Interlox, 1997; Jiménez *et al.*, 2001):

- Es considerado como un biocida o desinfectante biodegradable, ya que no produce subproductos de descomposición peligrosos ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$, CO_2 , H_2O_2).
- Inactiva esporas, hongos, levaduras, bacterias, virus y helmintos.
- Posee una excelente solubilidad en agua.
- Actúa en tiempos de contacto extremadamente cortos (<5 min) y en un amplio intervalo de pH (1-10) y de temperatura (0-100°C).
- La dureza del agua no afecta su capacidad microbicida.
- No interfiere con el humus presente en el lodo, ni reacciona con el amoníaco del mismo, lo cual evita que pierda su acción como fertilizante.
- Reduce el abultamiento de los lodos.
- Estudios previos han demostrado su efectividad en lodos.

Las desventajas del APA son:

- Costo elevado en México debido a que no se produce a gran escala.
- Vida útil del producto menor de 3 meses.
- Producto corrosivo e irritante de la piel, ojos y mucosas (a una exposición excesiva).

En un reporte de la USEPA de 1999, se incluyó el APA dentro de los cinco desinfectantes que pueden ser utilizados en aguas residuales. Lefevre *et al.* (1992), aseguran que a pesar de su costo elevado, el APA es una buena opción por su eficiencia y efectividad para inactivar bacterias y huevos de helmintos. Para una desinfección normal se recomiendan dosis de 200 a 500 ppm (Cherrington *et al.*, 1991).

El APA comparado con otros desinfectantes como el cloro activo, e incluso con otros procesos como la radiación con luz ultravioleta y hasta con otros ácidos fuertes como el acético y el sulfúrico; resultó

ser mucho más efectivo para disminuir y/o eliminar de microorganismos (Lefevre *et al.*, 1992 , Barrios *et al.*, 2000, Quimiproducos, 2001 y González, 2002).

1.6.3 Mecanismo de desinfección

El ácido peracético actúa como oxidante, tanto en la membrana de las células, como en su interior (Solvay Intertox, 1997). Por ello su acción no se encuentra directamente relacionada con la acidez, sino con la capacidad para inhibir funciones enzimáticas y metabólicas (Tortora, 1999). El ácido peracético inhibe varias funciones de la célula (Zinsser, 1998) como:

- La síntesis de la membrana celular
- El transporte membranar
- La síntesis de proteínas
- El metabolismo de los ácidos nucleicos
- Las reacciones enzimáticas

El ácido peracético (Figura 1.2) desnaturaliza componentes importantes de la membrana, produce un despliegue de la cadena polipeptídica de las proteínas, y éstas se enrollan de forma irregular (Joklik *et al.*, 1998). Así, se rompe y se deteriora la membrana celular, la presión osmótica incrementa, lo que provoca una situación hipotónica de desequilibrio y se permite la entrada del ácido a la célula. Una vez que el ácido se encuentra en el citoplasma, se ioniza y libera protones y oxígeno activo, lo que afecta las reacciones metabólicas de óxido reducción las cuales a su vez alteran a la fosforilación oxidativa, la síntesis de ATP, el transporte activo y el mantenimiento de los niveles de soluto intracelular. Por lo que se provoca un daño global a la célula y en consecuencia la muerte celular (Roth y Keenan, 1971 y Solvay Intertox, 1997).

También, se ha sugerido que el APA rompe los enlaces sulfhidrilo (-SH) y sulfuro (S-S) de las enzimas (Figura 1.3). Desde el punto de vista intracelular el APA puede oxidar enzimas esenciales que controlan funciones metabólicas, como la acetil coenzima A, la cual tiene un grupo sulfhidrilo (Fraser *et al.*, 1984; Pezczar *et al.*, 1991 y Barrios *et al.*, 2001). El APA rompe las cadenas de

proteínas de las bacterias filamentosas, destruye sus puntos de unión y ataca la cubierta de polisacáridos (Pezczar *et al.*, 1991 y Joklik *et al.*, 1998).

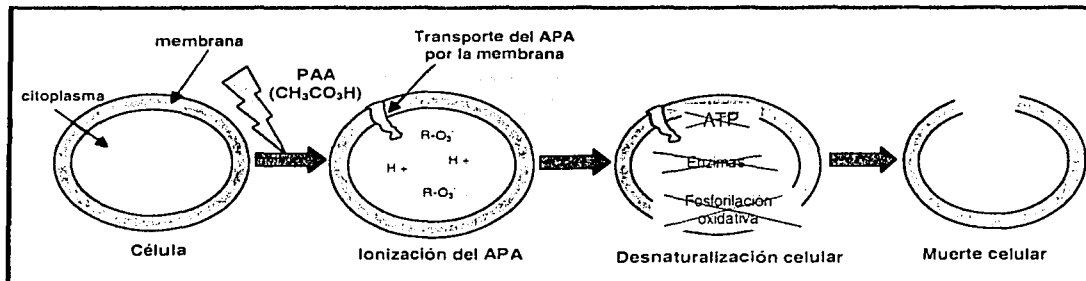


Figura 1.2 Esquema de la desnaturalización celular, causado por el ácido peracético.

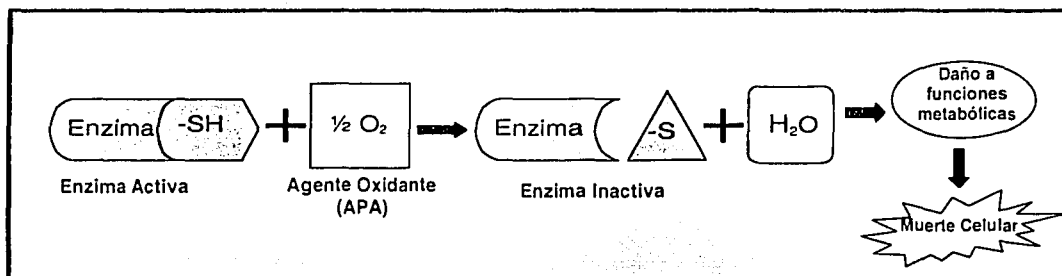


Figura 1.3 Esquema de Inhibición Enzimática del Ácido Peracético (APA).

En comparación con otros desinfectantes, se ha observado que por sí solo el peróxido de hidrógeno posee una alta actividad y efectividad para la desinfección, que sin embargo, se encuentra limitada por la actividad de la catalasa que producen las bacterias, ya que reaccionan y descomponen en O_2 y H_2O . Sin embargo, esto no sucede con el APA ya que al ser una mezcla en equilibrio, provee todos los beneficios que por sí sólo proporciona el peróxido de hidrógeno, sin estar limitado por la acción de la catalasa (Colgan y Gehr, 2001).

1.6.4 Experiencias en el tratamiento de aguas y lodos residuales

La aplicación de ácido peracético en lodos permite producir biosólidos que cumplan con la norma 503 de la USEPA y con la norma NOM-004-SEMARNAT-2002, al reducir el contenido de bacterias y de huevos de parásitos intestinales (helminetos) (Fraser *et al.*, 1984; Rajala *et al.*, 1997; Lefevre *et al.*, 1992; Barrios *et al.*, 2000; Jiménez *et al.*, 2001; Colgan y Gerh, 2001; Sanbria, 2001 y González, 2002). Al comparar entre distintos ácidos como el sulfúrico, perclórico, peracético y acético, en lodos fisicoquímicos el APA fue el más eficaz para reducir los coliformes fecales y los huevos de helmintos de forma significativa. Para coliformes fecales y *Salmonella* se tuvo una eficiencia de 4.2 a 6.9 unidades logarítmicas, muchas veces por debajo del límite de detección.

González (2002), demostró que el APA da mejores resultados como agente biocida en contra de *Salmonella* spp., coliformes fecales y huevos de helmintos (Tabla 1.16).

Tabla 1.16 Comparación del efecto biocida del APA con el peracético.

Ácido	<i>Salmonella</i> spp.	Coliformes fecales	Huevos de helmintos
	Log NMP/gST		Eficiencia remoción (%)
Acético	3.0	3.2	74
Peracético	5.2	6.0	93

Para resumir los resultados de los estudios de desinfección con ácido peracético en efluentes residuales, la Tabla 1.17 contiene una comparación de la eficiencia de remoción o inactivación de ciertos microorganismos patógenos presentes tanto en aguas como en lodos residuales. En lo que se refiere al tratamiento de aguas residuales, se observa una remoción de hasta cinco unidades logarítmicas y hasta del 100%, en virus, bacterias y fagos; con dosis de 5 a 500 ppm de APA. El intervalo del tiempo de contacto empleado va de 10 a 120 minutos.

Tabla 1.17 Desinfección de aguas residuales con APA y su efecto en la remoción o inactivación de ciertos microorganismos patógenos.

Microorganismo	Dosis APA	Tiempo de contacto	Eficiencia de remoción o inactivación	Fuente
	(mg/L) o (ppm)	(min)	(log) o (%)	
Coliformes fecales	5	20	4 log	Morris, 1993
	5	60	99%	Shaan <i>et al.</i> , 1996
	400	20	5.2 log	Liberti <i>et al.</i> , 1999
	10	30	3.4 log	
-	10 a 25	1 a 4 log	Langlais y Triballeau, 1992	
Estreptococos fecales	10	10	3 a 4 log	Lazarova <i>et al.</i> , 1998
<i>Giardia lamblia</i>	10	30	62%	Liberti <i>et al.</i> , 1999
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10	30	99.9%	
Rotavirus humano	140	30	100%	Haraken, 1984
Fagos DNA	25	10	5 log	Rajala <i>et al.</i> , 1997
Fagos RNA	25	10	2 log	
Fago X174	10	120	7.5 log	Lazarova <i>et al.</i> , 1998
Fago MS2	500	120	3.5 log	

En la Tabla 1.17 se observa una eficiencia de remoción de 3 hasta 7.5 unidades logarítmicas en fagos y bacterias, así como una eficiencia de inactivación del 79 al 100% en huevos de helmintos. Con dosis que van de 200 a 5000 mg APA/L con tiempos de contacto muy cortos de 2 minutos hasta 1 hora. Lo cual testifica que el APA es una opción eficiente y apropiada para desinfectar efluentes residuales y reducir el riesgo de infección causada por los microorganismos patógenos que se encuentran en ellos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 1.18 Desinfección de lodos residuales con APA y su efecto en la remoción o inactivación de ciertos microorganismos patógenos.

Microorganismo	Dosis APA	Tiempo de contacto	Eficiencia de remoción o inactivación	Fuente
	(mg/L) o (ppm)	(min)	(log) o (%)	
<i>E. coli</i>	600	10	4.4 log	Fraser <i>et al.</i> , 1983
Estreptococos fecales	600	10	3.4 log	Fraser <i>et al.</i> , 1984
<i>Salmonella spp.</i>	600	10	3 log	Fraser <i>et al.</i> , 1983
	200, 400, 500, 600 y 1000	10, 20 y 30	>90%	Godfree <i>et al.</i> , 1984
	20000	30	4.5 log	Jiménez <i>et al.</i> , 2001
	550	30	6 log	González, 2002
	250 500 1000	60	99.9%	Colgan y Gehr, 2001
	550 ppm	2 a 30	3 log a 6.4	
Coliformes fecales	550 ppm	2 a 30	4.1 log 6.5 log	Barrios <i>et al.</i> , 2001
	20000	30	4.5 log	Jiménez <i>et al.</i> , 2001
	1000 a 5000 ppm	30	ND*	Sanabria, 2001
	550	2 a 30	4.4 a 5.8 log	González, 2002
Huevos de helmintos	550	2	93%	
	550	2 a 30	88% a 95%	Barrios <i>et al.</i> , 2001
	1000 a 5000 ppm	30	79%	Sanabria, 2001
	250 500 1000	60	94% 80% 100%	Fraser <i>et al.</i> , 1984
	20000	30	98%	
	251, 500 y 1000	<30	>90 %	Jiménez <i>et al.</i> , 2001 Owen <i>et al.</i> , 1984
	250 500 1000	60	99%	Colgan y Gehr, 2001

* ND = No Detectable

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A continuación se hablará del material en donde se aplicará el biosólido en éste estudio, que son las capas volcánicas endurecidas (tepetates). Se presentan las características que los definen, su clasificación, su distribución en el país, la problemática asociada a su afloramiento, manejo y habilitación y finalmente se analizará la opción de la aplicación de biosólidos en ellos como una alternativa de mejoramiento y/o enmienda.

1.7 Tepetates

La palabra tepetate proviene del vocablo Náhuatl *tepétatl*, compuesto por las raíces *tetl* que significa piedra y *pétatl* petate, por lo tanto, su significado etimológico es petate de piedra (Flores *et al.*, 1991). El término edafológico de tepetate corresponde a las capas endurecidas de origen volcánico que se encuentran en el perfil del suelo y que pueden o no aflorar; generalmente se encuentran en regiones con una temporada seca bien definida.

1.7.1 Características generales

El endurecimiento de las capas volcánicas puede ser de origen geológico (en el momento del depósito) o pedológico (por el aporte de cementantes Zebrowski, 1992). Los tepetates en su estado natural poseen una estructura masiva (Peña y Zebrowski, 1992) y baja porosidad. Son duros, presentan resistencia al paso del agua, baja fertilidad, así como una considerable resistencia a la penetración de raíces, lo cual constituye restricciones de tipo físico para el crecimiento de las plantas, y posteriormente, estas deficiencias se tornan de carácter nutrimental (Etchevers *et al.*, 1997). Lo anterior conlleva a que sean considerados un problema para el uso de suelo agrícola, forestal y pecuario.

Las áreas extensivas de tepetate no son sólo una fuente significativa de sedimentos que afectan a zonas aledañas, sino también son tierras marginales con baja productividad (Ventura *et al.*, 1999).

1.7.2 Clasificación

Dependiendo del tipo de cementante involucrado se dividen en (Flores *et al.*, 1991):

- a) PETROCÁLCICOS.- Compuestos por carbonato de calcio (CaCO_3). Se forman por precipitación y acumulación de carbonatos, cuyas fuentes son: rocas carbonatadas en materiales parentales, materiales piroclásticos calcáreos y carbonatos autigénicos, y generalmente son de color blanco.
- b) DURIPÁN.- Compuestos por sílice (SiO_2), poseen una gran estabilidad y se encuentran en climas húmedos, subhúmedos y semiáridos, en donde existe un período seco bien definido (Guerrero *et al.*, 1992). Poseen estructura masiva, laminar o prismática gruesa y son de color amarillo, gris y rojizo.
- c) FRAGIPÁN.- Es un horizonte compactado y ligeramente cementado de textura típica de migajón con un alto contenido de limo y arena fina. Cuando está seco es de duro a muy duro y en húmedo es frágil.
- d) PETROGYPSICOS.- Compuestos de sulfato de calcio (CaSO_4). Se presentan en climas áridos con gran evaporación, (Guerrero *et al.*, 1992). La cementación se lleva a cabo por cristalización del sulfato de calcio cuando llega a un nivel de hidratación óptimo, en general son de color blanco.
- e) PLINTITAS.- Involucran diferentes clases de cementación, con óxidos de hierro y aluminio. Se forman bajo la influencia de una lámina de agua fluctuante que crea condiciones alternas de oxidación - reducción. Su color puede ser desde amarillo claro hasta rojo intenso.

Existen diferentes denominaciones de los tepetates, que dependen de la zona en donde se encuentren, las costumbres y cultura, el idioma o dialecto, los usos que se le den y sus características físicas. Algunos de estos nombres, se remontan a tiempos muy antiguos. En la Tabla 1.19, se presentan los nombres más comunes.

Tabla 1.19 Denominación del Tepetate

Lugar	Nombre	Origen	Fuente
Eje Neovolcánico Mexicano	Tepetate	Náhuatl	Flores <i>et al.</i> , 1991
Región Otomí	Xido	Otomí	Nimlos, 1987
Región Tarasca	Sheri	Tarasco	Nimlos, 1987
Centroamérica (Nicaragua, Salvador y Honduras)	Talpetate	Náhuatl	Zebrowski, 1992
Colombia y Perú	Hardpan o Sillares	Desconocido	Zebrowski, 1992 e Hidalgo <i>et al.</i> , 1999
Ecuador y Colombia	Gangahua o Cancahua	Quéchua	Zebrowski, 1992
Antillas	Pan	Desconocido	Nimlos, 1987
Japón	Kora y Masa	Desconocido	Nimlos, 1987
Al Sur del Continente Americano, en Chile	Cancagua, Moromoro, Fierrillo, Tasca y Ñadis	Desconocido	Zebrowski, 1992
Denominación Técnica	Duripán y Fragipán	Estadounidense	Soil Taxonomy, 1988

1.7.3 Distribución en México

Dentro del 30% del territorio Mexicano (Figura 1.4), según Flores *et al.*, (1991) y Guerrero *et al.*, (1992), se presenta algún tipo de tepetate. Por orden de dominancia:

- **PETROCÁLCICOS.**- Generalmente se localizan en Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí y Durango, en zonas con climas áridos y semiáridos.
- **DURIPÁN.**- Se presentan en ambientes templados y húmedos y áreas de influencia volcánica, en el Eje Neovolcánico, Aguascalientes y San Luis Potosí.

- FRAGIPÁN.- Se encuentran en zonas de precipitación mayor que la evaporación en climas cálidos a fríos, en el Eje Neovolcánico.
- PETROGYPSICOS.- Se encuentran en los estados que están en el centro y Norte del país.
- PLINTITAS.- Se localizan en áreas cálidas - húmedas o que alguna vez lo fueron. Son escasos en México, se presentan en los estados de Tabasco, Sur de Veracruz y Norte de Oaxaca.



Figura 1.4 Zonas con tepalcate en México, Flores *et al.* (1991).

En la Tabla 1.20 y la Tabla 1.21, se presentan los porcentajes de la superficie (km²), por tipo de tepalcate, que se presentan en el país.

Tabla 1.20. Superficie y Porcentaje de la cobertura de las capas endurecidas en México.

Suelo	Superficie (Km ²)	Porcentaje (%)
Otros suelos	1,774,516	91
Capas endurecidas	183,685	9
Total	1,959,201	100

Modificado de Guerrero *et al.*, (1992).

Tabla 1.21 Superficie y cobertura por tipo de capa endurecida en México.

Capas Endurecidas	Superficie (km ²)	Porcentaje (%)
Petrocálcico	139,518	76
Duripán y Fragipán	37,247	20
Petrogypsico	6,920	4
Total	183,685	100

Modificado de Guerrero *et al.* (1992).

1.7.4 Problemática y habilitación

En México, la escasez de tierras de cultivo y el avance de la desertificación en zonas con una elevada densidad poblacional y economía precaria, muestra la importancia social y económica del estudio de los tepetates, como una alternativa para la producción agrícola y forestal.

Los tepetates constituyen un problema social y económico debido a la extensión territorial que ocupan aproximadamente 30% (Flores *et al.*, 1996), a las limitaciones que presentan para su uso y a la poca fertilidad (productividad) del material, lo cual propicia el abandono de los sitios en los que aflora (Velázquez *et al.*, 1998). Por otra parte, la presencia de capas cementadas o endurecidas favorece la erosión del suelo al impedir el paso del agua al subsuelo, lo que propicia el drenaje lateral y un mayor escurrimiento superficial, con la consecuente disgregación y transporte de partículas minerales (Flores *et al.*, 1991).

El manejo de los tepetates requiere prácticas y equipo cuyo costo resulta inaccesible para los agricultores, por lo que se les considera áreas improductivas. En México, los suelos con tepetate afloran en zonas agrícolas o pecuarias con alta densidad de población campesina de escasos recursos, por lo cual el problema es de interés nacional (Zebrowski, 1992).

En este trabajo se entiende por habilitación a la propiedad de capacitar un recurso (tepetate), para un uso o producción. Dadas las características del tepetate, su amplia extensión dentro de la República Mexicana y su afloramiento cada vez más frecuente, la habilitación de estos materiales se convierte en una necesidad que debe ser considerada, para una pronta solución e incorporación del tepetate al proceso productivo.

Según Ortiz y Anaya (1992), para recuperar las áreas con tepetate se requiere cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener suficiente espacio poroso para el desarrollo de las raíces.
- Contar con un buen abastecimiento de agua.
- Brindar los nutrimentos y materia orgánica necesarios para el desarrollo de las plantas.

Para lograr esto, se requiere de técnicas como la roturación, terraceo y aplicación de materia orgánica, ya que además de mejorar los suelos aceleran su restablecimiento. Por otra parte, se deben establecer especies vegetales, que favorezcan física, química y biológicamente al tepetate. Esto mediante la acción mecánica de las raíces que mejora la estructura del suelo y la formación de agregados. Los exudados radicales que se liberan junto con la cobertura vegetal aportan materia orgánica y otros nutrimentos al suelo (Pimentel, 1992).

La roturación modifica la estructura del tepetate, dando como resultado fragmentos que facilitan el establecimiento de las plantas, mas estos fragmentos quedan susceptibles a ser recompactados o erosionados, lo cual indica que la roturación por sí sola no asegura la rehabilitación (Quantin *et al.*, 1992). Por lo tanto, además de la fragmentación es necesaria la aplicación de enmiendas que aporten materia orgánica para promover la formación de agregados estables que constituyen la estructura más apropiada para el desarrollo vegetal y la formación de suelo.

El uso de enmiendas para reducir la compactación superficial, incrementar la infiltración y reducir la erosión del suelo, es una forma viable de manejo para recuperar o restaurar los tepetates a un bajo costo (Ventura *et al.*, 1999).

Afortunadamente, no todo es negativo en los tepetates; desde el punto de vista de la construcción, resultan altamente satisfactorios como basamentos para construir casas y edificios, a diferencia de los sedimentos arcillosos y arenosos no consolidados. Igualmente, se les ha utilizado directamente en forma de bloques altamente resistentes a la meteorización e intemperismo, tal como se les puede observar todavía en algunas casas particulares, iglesias antiguas, e incluso, en construcciones

campestres modernas, donde se alternan los tepetates blancos con los amarillos (Flores *et al.*, 1991).

Por lo anterior, la habilitación de los tepetates a la producción agrícola por lo general requiere de elevados ingresos de energía externa mecánica o manual para su roturación, así como química para mejorar el escaso nivel nutrimental, especialmente de nitrógeno y fósforo. Para incrementar los niveles de estos nutrimentos y disminuir los costos económicos y ambientales que significa el empleo de fertilizantes sintéticos en el proceso de recuperación, es necesario analizar otras opciones que aceleren la recuperación de la capacidad productiva del tepetate (Álvarez *et al.*, 2000).

El papel de los biosólidos en la habilitación de los tepetates no ha sido estudiado ni en México ni en el mundo. Pero dadas las características de los biosólidos de presentar grandes porcentajes de materia orgánica, niveles considerables de nitrógeno y fósforo y al ser al mismo tiempo éstos tres componentes prácticamente ausentes en los tepetates, su aplicación resulta de sumo interés para iniciar la habilitación de las capas volcánicas endurecidas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

METODOLOGÍA.

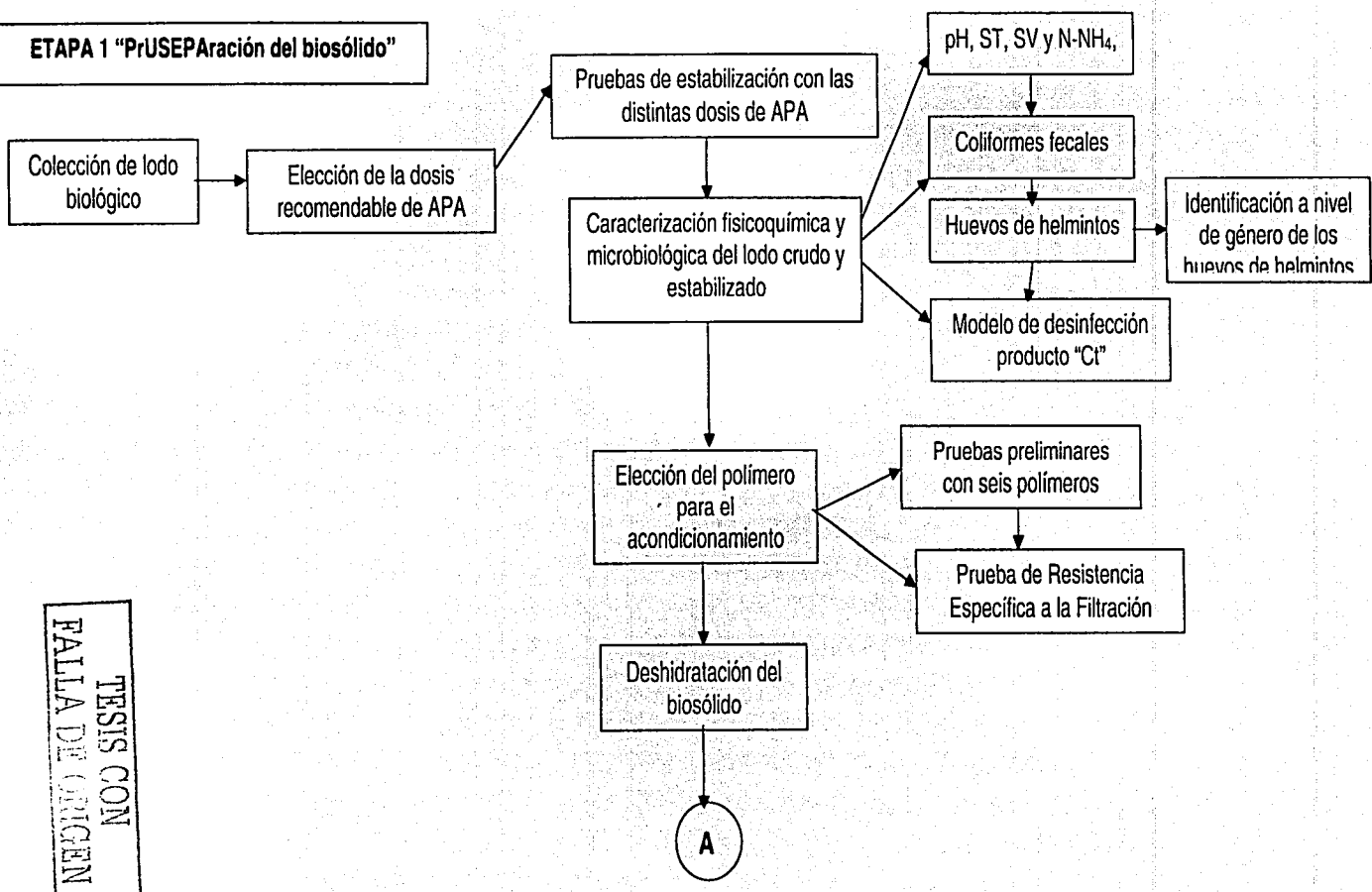
2 METODOLOGÍA

En función de los objetivos principales de este estudio, la metodología (Figura 2.1), se dividió en tres etapas:

- 1. Preparación del biosólido**
- 2. Elección de la especie vegetal por sembrar**
- 3. Aplicación del biosólido al tepetate**

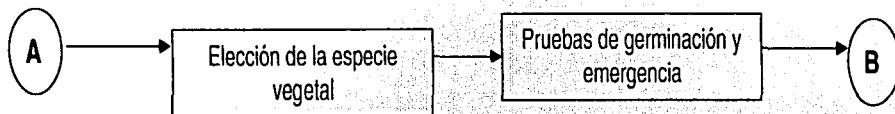
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 2.1. Esquema de la metodología global de la tesis.

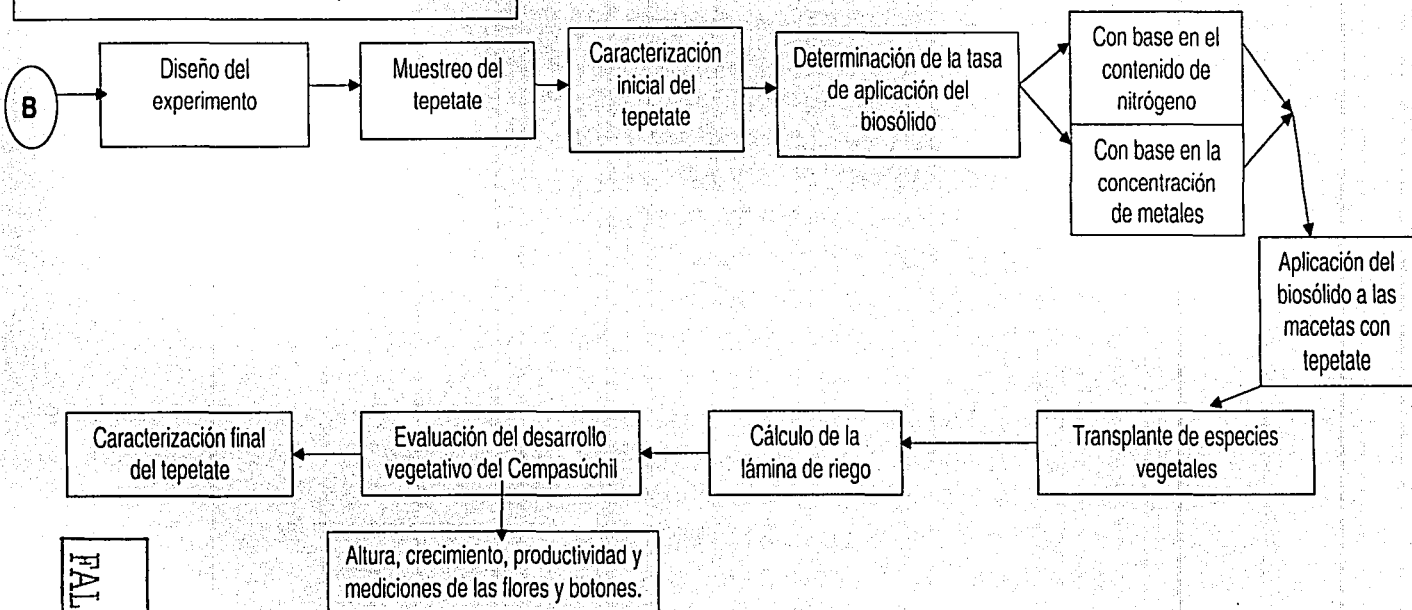


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ETAPA 2 "Elección de la especie vegetal a sembrar"



ETAPA 3 "Aplicación del biosólido al tepetate"



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

2.1 Preparación del biosólido

Esta primera etapa incluyó la colección del lodo, su caracterización, el proceso de la estabilización con APA, el acondicionamiento y su deshidratación. Todo esto con el objetivo de convertir el lodo en biosólido susceptible de ser aplicado al tepetate como mejorador.

2.1.1 Muestreo de lodo biológico

Se realizaron tres colectas de lodo biológico de la planta de Cerro de la Estrella, con el fin de obtener representatividad (Foto 2.1, Foto 2.2, Foto 2.3). La planta de tratamiento esta ubicada en la Delegación Iztapalapa, D.F. Posee una superficie de 9 ha, tiene una capacidad de diseño de 4 m³/s y trata una mezcla de aguas residuales domésticas, industriales y comerciales hasta nivel terciario (filtración + cloración). La planta cuenta con un proceso de tratamiento por lodos activados convencional. Los lodos fueron tomados de la línea de recirculación entre el sedimentador secundario y los tanques de lodos activados (Foto 2.1).

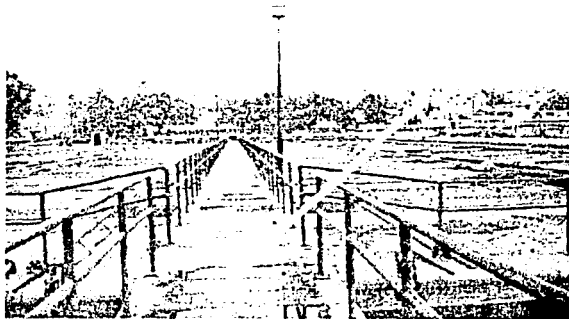


Foto 2.1 PTAR de Cerro de la Estrella, línea de recirculación.

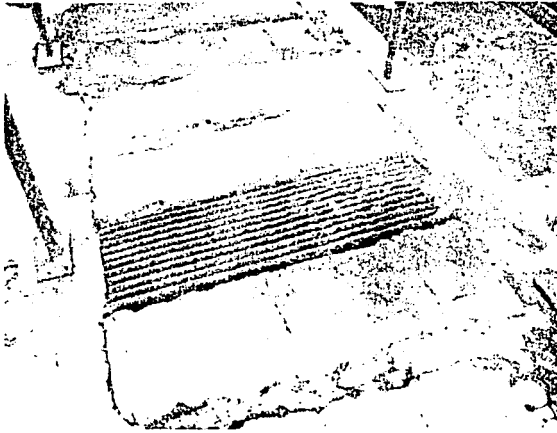


Foto 2.2 Sitio de muestreo, en la línea de recirculación.



Foto 2.3 Muestreo del lodo biológico en garrafas.

Se eligió esta planta debido a que es la más grande de la Ciudad de México y a que el sistema de lodos activados es el más aplicado en el mundo. Hubo una diferencia de 15 días entre cada colecta. Se tomaron 49 L de lodo biológico con muestreadores de plástico que se vertían en garrafas de 7L con tapón de rosca, para evitar contaminación posterior. El lodo biológico se transportó al laboratorio del Instituto de Ingeniería para realizar los análisis necesarios.

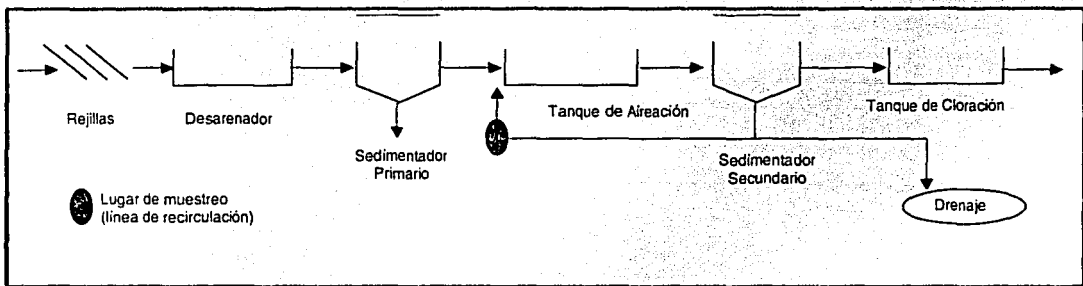


Figura 2.2 Diagrama del tren de tratamiento de la planta de Cerro de la Estrella.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.2 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del lodo crudo y estabilizado

Los análisis preliminares del lodo crudo y estabilizado se hicieron de acuerdo con APHA, AWWA, WEF (1995) y la NOM-004-SEMARNAT-2002. Se determinó el pH, los coliformes fecales, los huevos de helmintos, los sólidos totales, los sólidos volátiles y el nitrógeno amoniacal (Tabla 2.1). Debido al alto contenido de agua en el lodo muestreado, éste se espesó por dos horas y después se eliminó el sobrenadante. El lodo espesado se mezcló en cubetas con el fin de homogenizar la muestra y tomar el litro necesario para el proceso de estabilización ácida.

Tabla 2.1 Parámetros de estudio del lodo crudo y tratado*.

Determinación	Técnica	Fuente
I. Caracterización Física		
Sólidos Volátiles/ Materia orgánica	2450 E.	APHA, AWWA, WEF (1995)
Sólidos totales	2540 B.	
II. Caracterización Química		
pH	Potenciometría	APHA, AWWA, WEF (1995)
CICT*	Espectrometría de absorción atómica	Soil Survey Staff, (1994).
Nitrógeno total Kjeldahl	Kjeldahl	APHA, AWWA, WEF (1995)
III. Caracterización Microbiológica		
Coliformes fecales	NMX – AA – 042 – 87	Diario Oficial de la Federación (1987) y (1999).
Huevos de helmintos	NMX – AA – 113- 99	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.3 Modelo de desinfección

Se utilizó un modelo de desinfección modificado del producto Ct (Viessman y Hammer, 1993) que indica la tasa de inactivación de un microorganismo específico, por un desinfectante dado, al tomar en cuenta la concentración del desinfectante y el tiempo de contacto con el medio a desinfectar. En éste caso el ácido peracético en la reducción o inactivación de los coliformes fecales y huevos de helmintos, respectivamente.

2.1.4 Selección de la dosis recomendable de APA

El ácido peracético utilizado en esta investigación es conocido comercialmente como PERABAQ QPM, se adquirió en la empresa mexicana Quimiproducos, S.A. de C.V. El producto es: líquido, incoloro, de densidad de 1.13 (g/mL), con una temperatura de aplicación entre 0 y 40°C y con un tiempo de contacto entre 10 y 40 min.

La estabilización ácida se llevó a cabo en un equipo de prueba de jarras (Foto 2.4). Se aplicaron dosis de ácido peracético de 250, 500, 750 y 1000 ppm de APA a un litro de lodo biológico, junto con un control en cada uno de los tres ensayos realizados. Se tomaron como base estudios anteriores, realizados con lodos fisicoquímicos (Jiménez *et al.*, 2001 y Barrios *et al.*, 2001 y González, 2002), por lo que se tomó un tiempo de homogenización de 15 minutos a 320 rpm y, posteriormente, un tiempo de reacción de 30 minutos a la misma velocidad. Al término de este periodo, se tomó una muestra para realizar los análisis microbiológicos (coliformes fecales y huevos de helmintos) y físico químicos (sólidos totales, volátiles, nitrógeno amoniacal y pH), por triplicado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

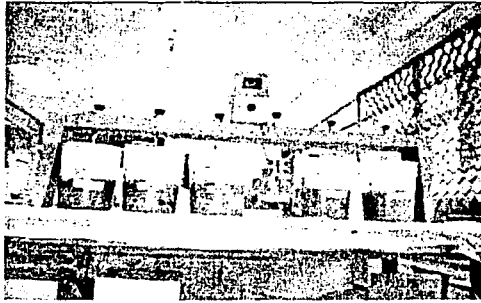


Foto 2.4 Prueba de jarras, lodo biológico con las cinco dosis de ácido peracético.

La dosis recomendable para la estabilización del lodo biológico, se determinó con base en la eficiencia de remoción o inactivación de coliformes fecales y huevos de helmintos. Se realizó un análisis de varianza para determinar si existían diferencias significativas entre las dosis y si el resultado era positivo se realizó una comparación de medias múltiples de Duncan (Montgomery, 1991). Además, se consideró en el reúso que se le iba a dar al biosólido, que es el de mejorador de suelos (tepetates), de acuerdo con los límites de la NOM-004-SEMARNAT-2002.

2.1.5 Selección del polímero adecuado para el acondicionamiento

La selección apropiada de polímeros para el acondicionamiento es un aspecto crítico en el proceso de deshidratación de los lodos (Wu *et al.*, 1997). El acondicionamiento ayuda a separar el mayor volumen de agua del lodo y a reducir con ello los costos de almacenamiento y transporte. Experiencias anteriores (Jiménez *et al.*, 2001a) indican que la deshidratación de lodos ácidos puede ser complicada, ya que los polímeros operan a un intervalo óptimo de pH de 4 a 11 unidades. Por esta razón, se probaron polímeros que tuvieran la posibilidad de operar a pHs ácidos. Se usaron seis polímeros 6120, 6260, 6520, 5260, 4961, y 267; proporcionados por la Química ECOTEC (Tabla 2.2). Estos fueron preparados al 0.5% (Foto 2.5), por recomendación del fabricante.

Después de estas pruebas preliminares se escogió el polímero que concentrara mejor el lodo y con él se llevó a cabo la prueba de la Resistencia Específica a la Filtración (REF). Ésta técnica permite

seleccionar la dosis de polímero para acondicionar un cierto tipo de lodo (Foto 2.6), debido a que el tiempo de filtración indica qué tan rápido se separan los sólidos del agua (Anexo 1).

Tabla 2.2 Polímeros utilizados en las pruebas preliminares.

Polímero ECOFLOC	Carga	pH	Aplicaciones				
			Clarificación	Tratamiento de agua residual	Separación líquido - sólido	Deshidratación de lodos	Deshidratación lodo biológico
6120	+	Muy Amplio				X	X
6260	+		X			X	X
6520	+		X			X	
5260	-	No Amplio	X	X	x		
4961	-		x		x	X	
267	-	Amplio	x	X	x		

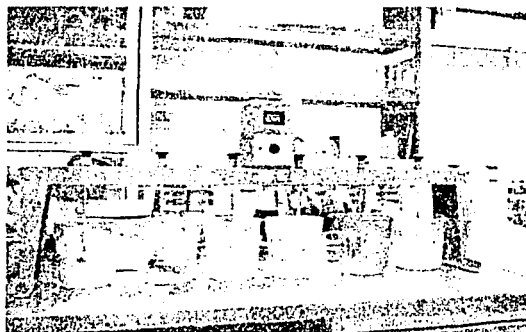


Foto 2.5 Preparación de los seis polímeros para acondicionar el lodo.



Foto 2.6 Embudo Büchner para la (REF).

2.1.6 Deshidratación del biosólido

TESIS COM
FALLA DE ORIGEN

La deshidratación del biosólido obtenido con la dosis de 250 ppm se llevó a cabo en un filtro prensa piloto (Foto 2.7), el cual separa parte del agua del lodo, mediante la filtración a presión a través de

placas de metal y papel en donde se queda la torta del lodo deshidratado. Para ello, primero se acondicionó el biosólido con la dosis del polímero antes mencionada. Después de deshidratado, el biosólido se caracterizó y se guardó en refrigeración a $<4^{\circ}\text{C}$, en un bote de plástico hermético por un período de un mes hasta el momento de su aplicación.



Foto 2.7. Filtro prensa piloto

2.1.7 Muestreo del tepetate

El tepetate usado provino del Municipio de Tetela del Volcán, Edo. de Morelos. De acuerdo con Flores *et al.*, (1992 y 1997), en el estado de Morelos existen tepetates que se localizan en una franja 65,000 ha, a una altitud de los 1500 a los 2000 msnm y que corresponden 11 de los 32 municipios del estado. Estos estados son: Zacualpan de Amilpas, Tetela del Volcán, Ocuituco, Yecapixtla, Atlatlahuacan, Tlayacapan, Totolapan, Tlalnepantla, Tepoztlán, Huitzilac y Cuernavaca. Morelos de hecho es uno de los estados con mayor área de tepetates.

El muestreo se hizo en zig – zag, a una profundidad mayor a los 10 cm, sin recolectar restos de vegetación (la cual es prácticamente nula en la zona, Foto 2.8 y Foto 2.9), tal y como lo recomienda el actual Proyecto de Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2001). Se colectaron alrededor de 40 kg de tepetate con ayuda de pico y pala, en costales para su transporte a la UNAM.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Foto 2.8. Zona de muestreo del tepetate, carretera Tetela-Zacualpan.



Foto 2.9. Muestreo del tepetate.

2.2 Elección de la especie vegetal

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Esta segunda etapa tuvo como objetivo el elegir una planta que se adaptara a las condiciones naturales del tepetate y que además pudiera aportar beneficios económicos y ecológicos a la zona de estudio y sus habitantes. Para esto se tomó en cuenta al escoger, una planta que preferentemente fuera de uso ornamental para evitar cualquier riesgo asociado a la salud por la

transmisión de patógenos. Posteriormente, con especie seleccionada, se realizaron pruebas de germinación y emergencia de dos casas semilleras distintas para elegir la que mejor se desarrollara. Las semillas seleccionadas se sembraron para obtener las plántulas que se transplantaron al tepetate.

2.2.1 Elección de la especie vegetal

Se escogió la especie comúnmente conocida como Cempasúchil (*Tagetes erecta L*); al ser una planta ruderal y agresiva, ya que dadas las características de las capas volcánicas endurecidas (tepetates), así como la zona de estudio, los beneficios ecológico y económicos del cultivo, que sea una planta de ornato y que tenga otros usos tanto culturales e industriales. Además esta planta, por su vasto follaje y raíces fasciculares, es capaz de aportar material vegetal al tepetate, que pudiera servir como abono verde al mismo. Para corroborar la importancia del cultivo del Cempasúchil la Tabla 2.3. resume los beneficios y características más sobresalientes que motivaron su elección.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 2.3. Usos y características más ventajosas del cultivo y producción del Cempasúchil.

Usos o características	Descripción	Clase de biosólido mínimo requerido
Usos		
Industria alimenticia y Farmacéutica	Pigmento de alimentos (yema de huevo) y cosméticos	A
Medicinal	Hojas y flor en infusión, templan el estómago, para contrarrestar efectos causados por parásitos intestinales, empacho, Diarrea, cólicos, afecciones hepáticas, bilis, vómito, ingestión y dolor de estómago en general.	A
Ornamental	Para casa habitación, sobre todo en Estados Unidos y Europa.	A o B
Artesanal	En carros alegóricos.	B o C
Forrajera	Complemento alimenticio para aves de corral	B
Propiedades para la rehabilitación del suelo	Es una especie ruderal, con follaje vasto y con raíz gruesa fascicular productora de grandes cantidades de exudados.	B o C
Industria	Pigmento de telas	B o C
Efecto nematocida, fungicida o insecticida	Extractos bioactivos de la planta han demostrado actividad biocida	B o C
Ritual, religiosa	Para su empleo en ceremonias religiosas (sobre todo el día de muertos)	B o C
Características		
Cultivo y periodo vegetativo	Anual y corto de 80 a 100 días	-
Flores	De larga conservación y abundantes.	-
Costo de producción (EUA \$/ha)	800-1000	-
Mercado nacional e Internacional demandantes	México Perú, Centroamérica, EUA, España e Italia.	-
Distribución en México	Chiapas, Distrito Federal, Edo. de México, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Tabasco, Oaxaca y Yucatán.	-

Fuentes: Vasudevan (1997), SEMARNAT (2002), CIPCA (2001) y Horticopia (2001).

Como parte de la descripción biológica del Cempasúchil, en el Anexo 2, se presentan los requerimientos y características más representativos para el desarrollo de ésta flor.

2.2.2 Pruebas de germinación

Se realizaron pruebas de germinación con semillas de Cempasúchil clase alto/ Hawai/naranja de dos casas semilleras distintas (COBO, S.A. de C.V. y Semillera de Xochimilco). Esto se hizo para evitar un factor de error al germinar semillas que no fueran de la calidad necesaria, y que por tanto desviarán los resultados.

Las semillas se hicieron germinar en frascos de vidrio con vermiculita (Foto 2.10), para no tener error por aportación de minerales del suelo. Posteriormente, se dejó crecer a la semilla 30 días después de su emergencia para transplantarlas a las macetas con tepetate.



Foto 2.10 Germinación de Cempasúchil, en vermiculita.

2.3 Aplicación del biosólido al tepetate

El término aplicación significa que los biosólidos se colocan en los suelos para aprovechar los nutrientes y materia orgánica que contiene y sus propiedades como acondicionadores de suelos (Jiménez, 2001). La etapa tres de aplicación involucró el muestreo, la fragmentación y tamizado del tepetate, su caracterización, el cálculo de las tasas agronómicas de aplicación, la adición de estas a las macetas en invernadero, el trasplante del Cempasúchil y las mediciones de desarrollo del mismo. También se incluyó el desmonte del experimento y los análisis edafológicos del tepetate trascurrido el período experimental.

2.3.1 Establecimiento y diseño del experimento

El tepetate para las macetas se trituró con martillo y se tamizó con mallas de entre 5 mm y menos de 2 mm, ya que es en éste intervalo en donde se forman la mayor parte de los agregados para la formación de suelo (Hidalgo *et al.*, 1996). Una vez hecho esto, se determinó la tasa agronómica de aplicación del biosólido a las macetas, en función de la especie vegetal seleccionada. Como criterio se usó el contenido de nitrógeno de la misma y la concentración de metales en el lodo. Consecutivamente, se realizó el transplante de las especies vegetales y se estableció la lámina de riego correspondiente a la zona de estudio. La unidad experimental fue la plántula, con cuatro repeticiones por maceta. Se tomó en cuenta un diseño bifactorial completamente al azar, en donde los factores a estudiar fueron la tasa de aplicación de biosólido y la presencia o ausencia de la especie vegetal en la maceta. Para las muestras de tepetate se tomaron tres repeticiones de cada maceta y se les realizaron los análisis edafológicos correspondientes.

2.3.2 Caracterización inicial del tepetate

El tepetate se trituró con martillo y se tamizó en una malla de 2.00 micras para realizar los análisis edafológicos (Tabla 2.4). Éstos se escogieron con base en el NOM-021-SEMARNAT-2001, Tamhane *et al.*, (1986) y Etchevers *et al.*, (1992); quienes mencionan que son las características más importantes que determinan la fertilidad de los suelos; incluso son usadas como para desarrollar prácticas de manejo y restauración de suelo adecuadas. Entre ellas se encuentran el potencial hidrógeno (pH), la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico total y el contenido de nitrógeno (como macronutriente principal). Por otra parte, las características químicas de los tepetates, resultan ser importantes dada la cantidad limitada de estudios que existen sobre ellos.

Tabla 2.4. Parámetros de estudio del tepetate

Determinación	Técnica	Fuente
I. Caracterización Física		
Color en seco y en húmedo	Tablas Munsell	APHA, AWWA, WEF (1995) y Soil Survey Staff, (1994).
Sólidos totales	2540 B.	APHA, AWWA, WEF (1995).
II. Caracterización Química		
pH	Potenciometría	Soil Survey Staff, (1994).
Materia orgánica	Walkey y Black modificado	
CICT	Espectrometría de absorción atómica	
Nitrógeno total kjheldal	-	USEPA 351.1
Nitrógeno Amoniacal	-	NOM AA-24-1984
Nitrógeno Orgánico	-	USEPA 352.1

2.3.3 Determinación de la tasa de aplicación del lodo

La tasa de aplicación del biosólido es fundamental para lograr un efecto benéfico sobre la fertilidad y la productividad del medio (suelo y planta). Para establecer una dosis adecuada, ésta se debe calcular con base en los factores climáticos, edafológicos, nutrimentales y en la concentración de metales pesados del lodo.

2.3.3.1 Determinación de la tasa agronómica de aplicación con base en el contenido de nitrógeno

Para esto, primero se calculó el área de la maceta, que fue de 0.346 m². Posteriormente, se calculó la tasa agronómica (T.A.), a partir del requerimiento de nitrógeno del Cempasúchil y el contenido de nitrógeno del biosólido a aplicar, con la relación (1).

$$T.A. = \frac{\text{Demanda de nitrógeno de la planta (kg N/ha)}}{\text{N disponible del biosólido (kg N/kg ST)}} \quad (1)$$

2.3.3.2 Determinación de la tasa agronómica de con base en la concentración de metales pesados

Para corroborar que la tasa agronómica fuese la correcta y que no se rebasaran los límites de aplicación de la concentración de metales pesados, se calculó la tasa correspondiente al contenido de metales del lodo, que recomienda la USEPA, (1996). Para esto, se realizó la determinación de metales del biosólido ya estabilizado y deshidratado y se comparó con los límites de metales propuestos por la USEPA para restauración de suelos. Luego, se verificó que ninguno de los metales, sobrepasara la tasa agronómica de nitrógeno, para que de esta forma ni la planta o el suelo tuvieran algún problema ya sea por falta de nutrimentos o por contaminación por metales pesados.

2.3.4 Aplicación del biosólido a las macetas con tepetate

Para aplicar el biosólido, se pesaron las cantidades correspondientes a las tasas agronómicas y se mezclaron con el volumen correspondiente de tepetate (6.9 L) de acuerdo con el área de la sección transversal de la maceta y al espacio radicular de 0.2 m. Así, se obtuvo la tasa de aplicación de 339 g de biosólido/maceta.

El tepetate junto con el biosólido en la cantidad equivalente a la deseada (tasas de aplicación) se mezcló en un recipiente de plástico de 20 L. Después, la mezcla (biosólido + tepetate) se adicionó a las macetas. En un invernadero (Foto 2.11) del Instituto de Ingeniería, se colocaron las macetas correspondientes a los ocho tratamientos con y sin planta. Las macetas se conservaron bajo las mismas condiciones por un período experimental de cuatro meses, correspondiente al ciclo vegetativo del Cempasúchil.

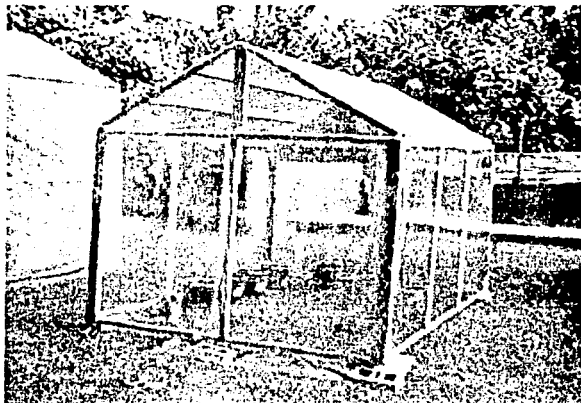


Foto 2.11 Invernadero en el cual se estableció el experimento.

2.3.5 Transplante de especies vegetales

Después de haber aplicado las dosis de biosólido se llevó a cabo el trasplante de cuatro plántulas de Cempasúchil por maceta, con el fin de tener representatividad estadística. Las plántulas fueron de la misma edad y aproximadamente del mismo tamaño, para prever algún factor de error en cuanto al desarrollo de éstas. Cada plántula fue suavemente sacada de la vermiculita y la raíz se lavó con cuidado en un recipiente con agua destilada, para eliminar los residuos de cualquier mineral del medio de germinación; pese a que la vermiculita es un medio inerte.

2.3.6 Cálculo de la lámina de riego

De acuerdo con datos de precipitación y evaporación de un período de 20 años (1980-2000) de la estación climatológica de Tetela del Volcán, Morelos (CNA, 2001), se calculó la lámina correspondiente a la zona de estudio. La cantidad de agua infiltrada, se calculó con base en Custodio, (1985):

$$\text{Infiltración} = \text{Precipitación} - \text{Evaporación}$$

2.3.7 Análisis de crecimiento vegetativo de los tratamientos con planta

Se entiende como desarrollo de las plantas, al cambio ordenado y progresivo de las mismas desde la germinación de la semilla hasta el período de producción de flores y frutos (Ames & Jonson, 2001). Éste se puede medir y/o cuantificar por medio de ciertas características que representan las diferentes etapas del ciclo vegetativo, como es la altura y el peso vegetal, lo que representa el crecimiento; así como el número de flores y/o frutos, que representa la productividad.

Debido a lo anterior, a los tratamientos con Cempasúchil con las distintas dosis de tasas agronómicas se les midió la altura de las cuatro plantas del principio al fin del tallo. La primera medición se realizó el mismo día del trasplante, la segunda un mes después y posteriormente cada semana hasta concluir el experimento. También se decidió tomar las mediciones del crecimiento, pesos del material vegetal y el número de flores, con el fin de comparar el efecto de los tratamientos (tasas agronómicas). Durante la época de floración, se contabilizaron las flores y/o botones para medir la productividad. Las flores que se cortaron, se les tomó el peso fresco y seco así como el ancho y el largo del pedúnculo; así como el ancho y largo de las hojas.

Al transcurrir el período vegetativo, se cortó la planta desde la parte inferior del tallo para pesarlas y comparar los tratamientos. La raíz de cada planta se sacó con cuidado para tomar también el peso radicular. Se observó si existían diferencias entre los tratamientos en cuanto a la formación de agregados por efecto de la raíz entre y dentro de los fragmentos del tepetate, lo cual es un indicio para la formación de agregados en el suelo (Marshall *et al.*, 1996).

2.3.8 Caracterización final del tepetate de las macetas

Al concluir el ciclo de vida de la planta, se desmontó el experimento y se realizó la caracterización edafológica final del tepetate (Tabla 2.4) de ambos tratamientos, con y sin planta. Para ello, se tomó una muestra representativa de cada maceta (aproximadamente 1 kg) y se realizaron los análisis edafológicos por triplicado (Tabla 2.4).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos las tres etapas del experimento que fueron la preparación del biosólido, la selección de la especie vegetal y la aplicación del biosólido al tepetate.

3.1 Preparación del biosólido

Como parte de la primera etapa se muestran los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del lodo biológico crudo y estabilizado, después la selección del polímero y la dosis respectiva para el acondicionamiento y por último las propiedades de la torta del biosólido que se obtuvo después de la deshidratación.

3.1.1 Caracterización fisicoquímica del lodo crudo y estabilizado

Los parámetros fisicoquímicos que se realizaron en el lodo biológico, fueron determinados en las muestras de lodo crudo y tratado con las distintas dosis de APA (250, 500, 750 y 1000 ppm). Los fisicoquímicos fueron el pH, los sólidos totales y volátiles y el contenido de nitrógeno amoniacal.

3.1.1.1 pH

Al agregar 250 ppm de APA al lodo (Tabla 3.1) se observa que el pH se acidifica rápidamente 2.5 unidades y después disminuye, por una unidad más, conforme aumenta la dosis de APA (500 a 1000 ppm), hasta llegar a un pH de 4.0 unidades con la dosis de 1000 ppm. Este comportamiento es usual al agregar un ácido orgánico. Pese a que la acidez podría representar una desventaja, Fraser *et al.*, (1984) reportan que la mayoría de los suelos poseen una capacidad buffer que puede contrarrestar este cambio. En el caso de los tepetates, Flores *et al.*, (1996) señala que poseen una alta capacidad de amortiguamiento. Además, de acuerdo con Barrios *et al.*, (2001) el pH ácido puede usarse para separar metales del lodo durante la deshidratación, en el caso de lodos provenientes de efluentes industriales.

Tabla 3.1 Caracterización del lodo tratado con dosis de APA

Dosis	pH	ST	SV	Nitrógeno Amoniacal
ppm		(%)	(%)	g NH ₃ /kg ST
0	7.3±0.03	1.00±0.09	79.7±0.66	1.82 ± 0.007
250	4.8±0.16	0.97±0.10	78.0±4.23	2.02 ± 0.014
500	5.0±0.07	0.92±0.30	79.6±0.84	1.36 ± 0.007
750	4.1±0.06	1.00±0.14	79.9±0.72	1.12 ± 0.014
1000	4.0±0.07	0.95±0.16	78.41±1.08	1.33 ± 0.007

* Valores que alcanzaron el límite de detección

Para corroborar que el pH del lodo se estabiliza al incrementar las dosis de APA se realizó una curva patrón en la que a un litro de lodo biológico crudo se le adicionó mililitro por mililitro el APA y se registró el pH de cada adición (Figura 3.1). Se observa que la curva baja fuertemente al agregar los primeros siete mL, después baja pero de forma moderada, menos de media unidad de pH de los 9 a los 18 mL y finalmente se vuelve estable al agregar de 19 a 31 mL.

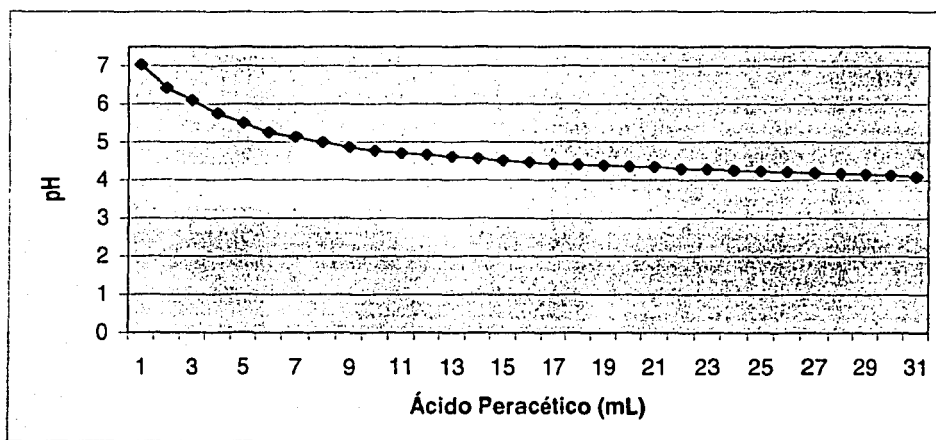


Figura 3.1. pH del lodo al incrementar la dosis de ácido peracético.

3.1.1.2 Sólidos totales y volátiles

El contenido de sólidos totales varió de 0,92 a 1,00 % (Tabla 3.1) sin presentar diferencias en cuanto a la aplicación del APA (Figura 3.2). De éstos resultados se puede concluir que la masa del lodo tratado es básicamente la misma que la del lodo crudo, lo que resulta atractivo en términos de almacenamiento y transporte después de la estabilización. Lo anterior es una ventaja que no se tiene en la estabilización alcalina, la cual incrementa la masa final del lodo hasta en un 50% (Jiménez *et al.*, 2000). En el caso de los sólidos volátiles, el contenido original no cambia al agregar cualquiera de las dosis de APA (Figura 3.2), pues los valores se mantienen cerca del 80% (de los sólidos totales) lo cual es adecuado ya que representan la fracción orgánica del lodo, lo que es adecuado para su reuso como mejoradotes de suelo (Harakeh, 1984).

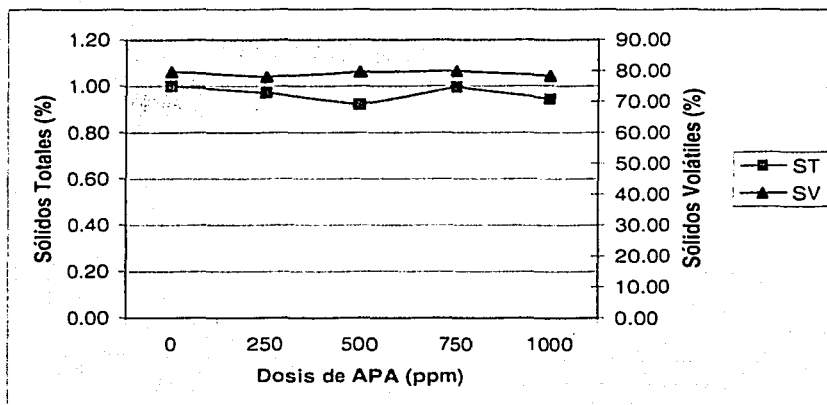


Figura 3.2. Porcentaje de sólidos totales y volátiles en el lodo crudo y estabilizado.

3.1.1.3 Nitrógeno amoniacal

El contenido de nitrógeno amoniacal se mantuvo prácticamente constante con las distintas dosis de APA. Los valores fluctuaron de 1.12 a 2.02 gNH₃-N/kg ST (Tabla 3.1). La diferencia entre las concentraciones del nitrógeno del lodo crudo y tratado, se explican por la heterogeneidad de la

muestra y no por el efecto de la adición del APA. Estos valores son considerados de medios a altos lo que resulta adecuado para su futura aplicación en tepetate como enmienda o biofertilizante.

3.1.2 Caracterización microbiológica del lodo crudo y estabilizado

Los análisis microbiológicos que se realizaron en el lodo fueron la determinación de coliformes fecales y huevos de helmintos (NOM-004-SEMARNAT-2002). Los primeros debido a que se encuentran como factor en la norma mexicana ya que son utilizados como bacterias indicadoras como es el caso de *Salmonella* spp. Además, para el caso de huevos de helmintos se analizaron los géneros encontrados para identificar el más común y resistente. Por último se realizó una modelación en los dos parámetros con una variante del producto Ct del modelo (Viessman y Hammer, 1993).

3.1.2.1 Coliformes fecales

En el lodo crudo, se observa una concentración que apenas rebasa el límite para lodos clase B de la USEPA, o por encima de la clase C para la NOM-004-SEMARNAT-2002 (6.43 unidades logarítmicas). Esto indica que ya sea en el límite estadounidense o en el mexicano, los valores están fuera del límite para mejorador de suelos o reúso agrícola, por lo que el lodo debe de ser estabilizado para permitir su aplicación o depósito final.

La Figura 3.3 muestra la eliminación de los coliformes fecales con las diferentes dosis de APA, al aplicar la dosis de 250 ppm, la concentración de coliformes fecales alcanzó el límite clase B de biosólidos (USEPA 503) y clase C de la NOM-004-SEMARNAT-2002, con una reducción de más de tres unidades logarítmicas. Al duplicar esa dosis (500 ppm) se obtuvo una reducción de 4.8 unidades logarítmicas, con lo cual se consigue la clase A de la USEPA y de la NOM-004-SEMARNAT-2002. Finalmente, con las dosis de 750 y 1000 ppm se llegó al límite de detección con una reducción cerca de 6 unidades logarítmicas. En general se puede observar que prácticamente en los tres muestreos se alcanza el valor requerido tanto por la NOM-004-SEMARNAT-2002, como por la USEPA 503, desde la aplicación de la dosis menor (250 ppm), por lo cual se puede decir que el APA es efectivo

para destruirlos. Para los fines de depósito y reúso del biosólido y bajo el cumplimiento de ambas normatividades, la dosis de 250 ppm es la recomendable para mejorar suelos degradados en sitios sin contacto público directo. Resultados similares se obtuvieron por Barrios *et al.* (2001) quienes lograron una reducción de 6.5 unidades logarítmicas con una dosis de 550 ppm de APA, con el mismo tiempo de contacto (30 minutos). Cabe mencionar que éstos resultados se obtuvieron en lodos físicoquímicos con un mayor porcentaje de sólidos totales, en donde se reporta que los microorganismos se concentran con mayor facilidad.

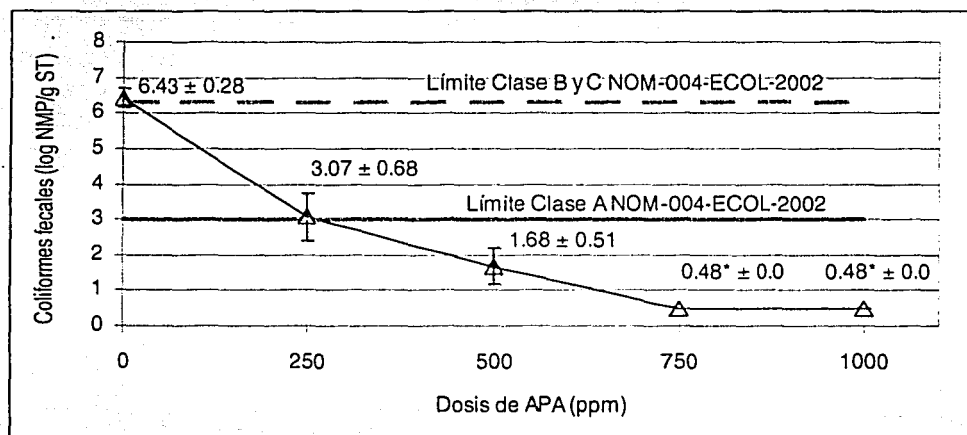


Figura 3.3. Contenido de coliformes fecales con las distintas dosis de APA.

Como parte de la elección de la dosis recomendable de APA, se hizo un análisis de varianza por medio de un diseño de bloques completamente al azar, en donde la variable de respuesta fue la eficiencia de remoción de los microorganismos (coliformes fecales y/o huevos de helmintos) y los tratamientos fueron las dosis de APA (0, 250, 500, 750 y 1000 ppm). Para ello se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho: $t_1 = t_2 = t_3 \dots$ no hay diferencia significativa entre los tratamientos.

H1: $t_1 \neq t_2 \neq t_3 \dots$ al menos uno de los tratamientos es diferente.

Los resultados de eficiencia de remoción se muestran en la Tabla 3.2 para las tres repeticiones realizadas.

Tabla 3.2. Destrucción de coliformes fecales, obtenidas en los tratamientos con ácido peracético.

Dosis Factor	Muestras (bloques)			Y _i
	1	2	3	
0	0.00	0.00	0.00	0.00
250	2.43	3.87	3.78	10.08
500	4.05	5.15	5.06	14.26
750	5.75	5.85	6.27	17.87
1000	5.75	5.85	6.27	17.87
Y _j	17.98	20.72	21.38	60.09

Con los resultados fue posible realizar el análisis de varianza que se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Análisis de varianza para el experimento de destrucción de coliformes fecales con distintas dosis de APA.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F ₀
T (Dosis)	73.92	4.00	18.48	139.06
B (muestras)	1.30	2.00	0.65	4.88
Error	1.06	8	0.13	
Total	76.28	14		

Para la F de tablas, se usó un nivel de confianza del 95%, lo que implica un error $\alpha=0.05$. Así el valor de $F_{0.05, 4, 8} = 3.84$, al compararlo con la F calculada de 139.06 se comprueba que $F_{calculada} >> F_{tablas}$, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, es decir que sí existen diferencias significativas entre los tratamientos. Al realizar las comparaciones entre los promedios de los tratamientos se tiene (Anexo 3), que existen diferencias significativas entre los tratamientos excepto con las dosis de 750 y 1000 ppm, ya que en ninguna se detectó la presencia de coliformes fecales, por lo cual se alcanzó el límite de detección.

3.1.2.2 Huevos de helmintos

El contenido de huevos de helmintos en el lodo crudo (63 huevos/gST) es menor que el reportado por Jiménez *et al.* (2002) para lodos fisicoquímicos de México (73 a 177 huevos/g ST). La diferencia puede deberse al uso de coagulantes y a las diferencias en el contenido de sólidos del lodo del tratamiento primario avanzado, ya que en éstos sólidos se asocian los microorganismos (incluyendo huevos de helmintos). Mientras que el tratamiento convencional de lodos activados, el contenido de sólidos es menor y por lo tanto los microorganismos pueden haberse quedado en el sedimentador secundario. En la Figura 3.4, se muestra la reducción de los huevos de helmintos viables bajo la aplicación de las distintas dosis de APA. Al estabilizar el lodo las eficiencias promedio fueron de 34, 60, 74 y 90% para las dosis de 250, 500, 750 y 1000 ppm de APA, respectivamente. Pese a que existe una reducción substancial, la mínima concentración de huevos de helmintos fue de 6 huevos/gST. De acuerdo con la USEPA, sólo existe un límite para la concentración de huevos de helmintos para clase A (< 0.25 huevos viables/gST), más no existe límite para los biosólidos clase B ya que son los que se aplican para restauración de suelos. Por tal motivo, las concentraciones alcanzadas cumplen con la USEPA para biosólidos clase B. Pese a esto en México, la aplicación de estos biosólidos debe hacerse bajo condiciones controladas para reducir los riesgos de infección por helmintos, pues éstos son capaces de sobrevivir hasta siete años en el suelo y que un solo huevo es necesario para infectar al huésped (USEPA, 1992). Así como el disponerlos solamente en sitios sin contacto público y con el fin de mejoradores de suelos o bien para el cultivo de plantas de ornato.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

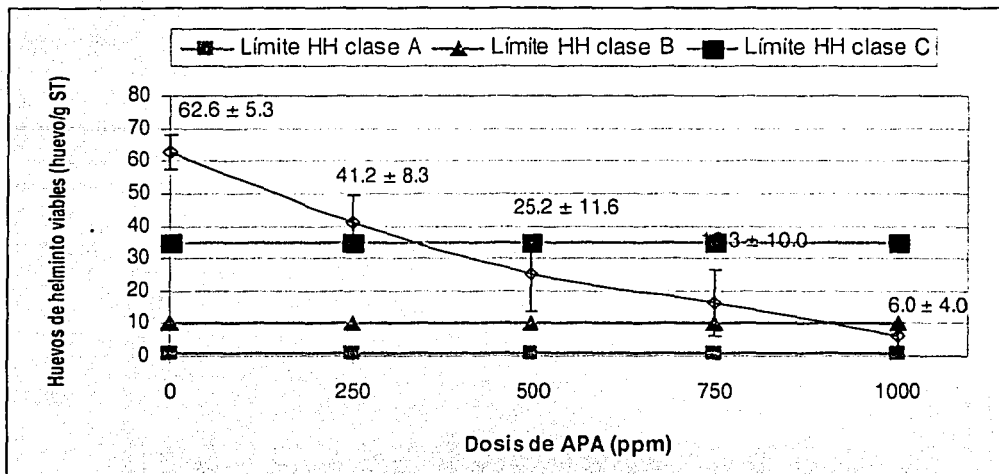


Figura 3.4. Efecto del APA en la concentración de huevos de helmintos.

Al tomar en cuenta la normatividad mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, en donde el límite de biosólidos para restauración en suelos (clase C), es de < 35 huevos/gST, a partir de la dosis de 500 ppm con 25 huevos/gST cumple con dicho límite. Incluso bajo la aplicación de la dosis más alta de 1000 ppm de APA (6 huevos/gST), se cumple con el límite para clase B de la normatividad mexicana (< 10 huevos/gST), el cual se aplica para depósito de biosólidos en sitios sin contacto público directo. Por lo que para los fines de ésta tesis de habilitar el tepetate; si se cumple con los límites necesarios (clase B y C).

Como se mencionó en los antecedentes, el efecto del APA sobre los microorganismos no está totalmente claro. A pesar de esto es posible que la reducción del pH, combinada con el incremento de la permeabilidad de la capa lipídica permita que el APA penetre en el huevo y lo inactive. Adicionalmente, los valores bajos de pH desnaturalizan proteínas y enzimas clave presentes en la membrana, por lo que se modifica en general la estructura del huevo y en consecuencia lo daña (Barrios *et al.*, 2001). En la Tabla 3.4 se muestra que la concentración total de huevos de helmintos varía de 47.0 a 65.3 huevos/g ST. La viabilidad de los huevos de helmintos va del 96% en el lodo

crudo a 11% cuando se aplicó la dosis de 1000 ppm APA. Esto sugiere que los huevos son inactivados en vez de destruidos bajo las condiciones estudiadas. Cabe mencionar que los huevos de helmintos no tienen la capacidad de recuperarse una vez que son inactivados, en contraste con los coliformes fecales que se pueden recuperar de los procesos de desinfección.

Tabla 3.4 Concentración de huevos de helmintos en el lodo crudo y tratado.

Dosis de APA	Huevos de helmintos viables	Huevos de helmintos totales	Viabilidad
ppm	Huevos/g ST		%
0	62.6 ± 5.3	65.3 ± 3.9	96 ± 2
250	41.2 ± 8.3	52.5 ± 8.7	78 ± 3
500	25.2 ± 11.6	56.2 ± 26.6	45 ± 5
750	16.3 ± 10.0	47.0 ± 21.7	33 ± 5
1000	6.0 ± 4.0	53.0 ± 22.3	11 ± 3

Los análisis estadísticos muestran que sólo entre las dosis de 500 y 750 ppm no se encontraron diferencias significativas (Anexo 3). Pero como el objetivo de éste estudio es el de la desinfección del lodo, no sólo se deben tomar en cuenta estas condiciones sino también el riesgo a la salud por la concentración de los parásitos en el suelo, así como un estudio de los costos del desinfectante.

3.1.2.3 Géneros de los huevos de helmintos

Los géneros de los huevos de helmintos se determinaron bajo su observación al microscopio, la Tabla 3.5 muestra la distribución de los géneros encontrados en las muestras de lodo crudo y tratado. Estos fueron: *Ascaris*, *Hymenolepis*, *Trichuris* y *Necator*. Otros géneros como *Toxocara* y *Taenia* no se encontraron en las muestras, pero si se han encontrado en otros estudios del país (Jiménez *et al.*, 2000). Se puede observar que el género más común en las muestras fue *Ascaris* (86 al 100%). Este género ha sido reportado como el más resistente (Carrington and Harman, 1984) así como el más común en lodos físicoquímicos en México (90.6%, Jiménez *et al.*, 2000). De la Tabla 3, *Ascaris* fue el género más resistente ya que éste género está presente aún con la dosis de APA más alta (1000 ppm). Esto se puede relacionar directamente con que la ascariasis es una de las

principales causas de enfermedad en México, responsable del 4.4% de la morbilidad y de un 8.3% de la mortalidad total del país (SSA, 2000). Además, más del 10% de la población de los países subdesarrollados se encuentra infectada por parásitos intestinales, de los cuales un gran porcentaje es el género de *Ascaris* responsable de 60, 000 muertes al año en el mundo (WWD, 2002).

Tabla 3.5. Distribución de los géneros de helminto en lodo crudo y tratado.

Dosis de APA (ppm)	Huevos de helmito totales (huevos viables /gTS)	Género (%)			
		<i>Ascaris</i>	<i>Hymenolepis</i>	<i>Trichuris</i>	<i>Necator</i>
0	62.6 ± 5.3	85.7 ± 3.9	4.8 ± 2.5	4.8 ± 1.6	4.8 ± 0.9
250	41.2 ± 8.3	92.7 ± 3.6	4.9 ± 2.1	0.0 ± 0.8	2.4 ± 2.3
500	25.2 ± 11.6	92.0 ± 6.1	4.0 ± 3.1	0.0 ± 0.0	4.0 ± 2.0
750	16.3 ± 10.0	88.2 ± 3.8	5.9 ± 1.1	5.9 ± 3.2	0.0 ± 1.7
1000	6.0 ± 4.0	100.0 ± 12.7	0.0 ± 6.4	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0

3.1.3 Modelación

Se utilizaron como base estudios de modelos de desinfectantes en agua residuales, en donde la eficiencia del desinfectante se mide en función de su concentración y del tiempo de contacto. El modelo se le conoce como producto Ct, que representa la constante experimental para inactivar a distintos grados los microorganismos del medio (Viessman y Hammer, 1993). Para esta tesis, las variaciones sólo se tienen con las distintas dosis de APA, ya que el tiempo se mantuvo constante (30 minutos), por lo que se modificó el producto Ct y quedo solamente el producto de la concentración de APA a un mismo tiempo. Esto, permite hacer una aproximación para determinar una dosis de APA para lograr una eficiencia de desinfección deseada a un tiempo de contacto constante, para los microorganismos estudiados (coliformes fecales y huevos de helmintos).

Así pues, con los resultados microbiológicos descritos con anterioridad, se realizó el modelo y se obtuvo una ecuación, que sirve para calcular una inactivación deseada (Figura 3.5). Esta ecuación es válida para todos biológicos con concentraciones similares de huevos de helmintos (63 ± 5.3 huevos/g ST) y debe ser validada para otros tipos de lodos.

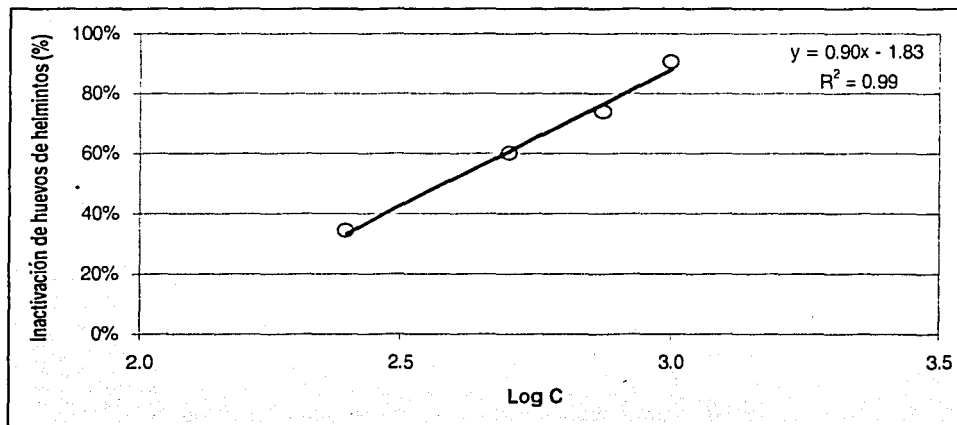


Figura 3.5. Inactivación de huevos de helmintos en función de la concentración de APA [C en ppm] y un tiempo de contacto de 30 minutos.

Del mismo modo, la ecuación para la reducción de coliformes fecales se pudo obtener para una dosis específica de APA y una remoción deseada (Figura 3.6). Debido a que este parámetro es el único que considera la USEPA para la obtención de biosólidos clase B, la aplicación de este método de selección puede ser utilizada para optimizar el proceso en términos del costo del APA. De cualquier forma, la reducción obtenida en la dosis de 500 ppm (cerca de cinco unidades logarítmicas) es similar a la reportada por Barrios *et al.* (2001), de 5.3 unidades logarítmicas, para un lodo fisicoquímico de la ciudad de México. Estos modelos son sumamente útiles en el diseño y planeación del proceso de estabilización a nivel piloto, ya que al disminuir el tiempo de contacto y optimizar la dosis del desinfectante (APA), se logra disminuir el tamaño de los tanques así como el capital destinado en la compra del desinfectante y la operación del proceso, en general.

TESIS CON
FALLA EN ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

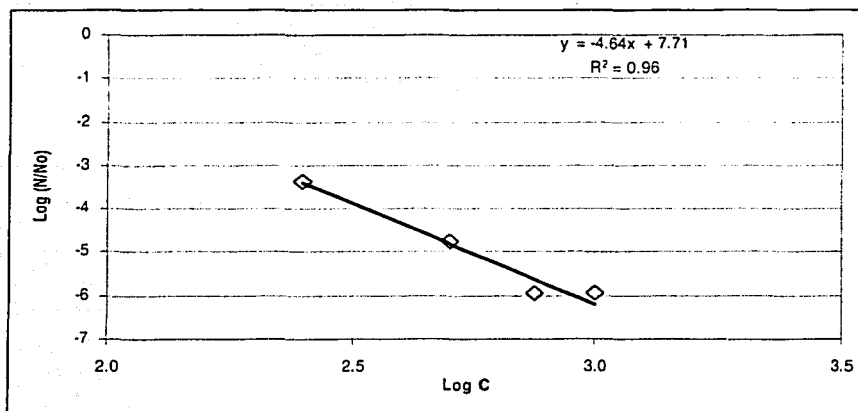


Figura 3.6. Reducción de coliformes fecales en función de la concentración de APA (ppm) y un tiempo de contacto de 30 minutos.

Cabe mencionar, que las dos ecuaciones obtenidas únicamente aplican para condiciones similares de lodo, no sólo en cuanto a la concentración de microorganismos, sino también en el pH y el contenido de materia orgánica. Ya que Viessman y Hammer, (1993) indican que en general el orden de resistencia a la desinfección química depende de factores como la materia orgánica que en el caso de los lodos puede proteger a los microorganismos del contacto con el desinfectante.

3.1.4 Elección de la dosis recomendable de APA

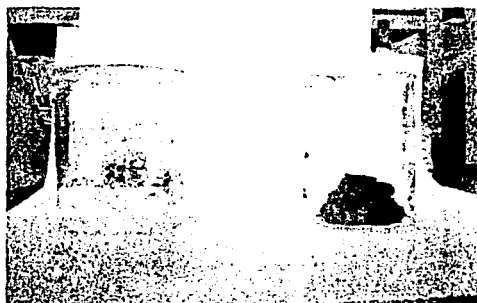
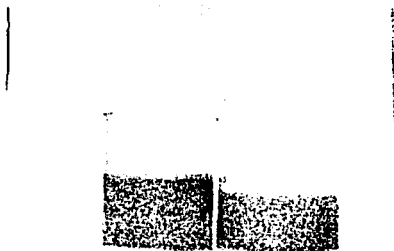
Como se mencionó en la metodología la dosis recomendable se seleccionó en función de la eficiencia de inactivación de coliformes fecales y huevos de helmintos del lodo estabilizado con las distintas dosis de APA de acuerdo con los límites de la NOM-004-SEMARNAT-2002. Al momento de hacer los cálculos correspondientes al número de huevos de helminto/g ST del lodo, hubo un error que hizo suponer que la dosis que cumplía con los dos parámetros microbiológicos obtenidos era la de 250 ppm (3.0 log NMP/g ST de coliformes fecales y 20.6 huevos de helmintos/gST). Al percibir esto, el experimento en invernadero ya estaba por finalizar y en realidad la dosis que efectivamente cumplía con dicha normatividad era la de 500 ppm. Sin embargo, se estimó que para los fines del experimento de la habilitación del tepetate con una planta ornamental, éste error no causaría algún

efecto tangible. Sólo es necesario indicar que la concentración de huevos de helminto es ligeramente más alta (41.2 huevos/g ST) que el límite clase C de la NOM (35 huevos/gST) y que hablando de las propiedades fisicoquímicas que pudieran modificarse, solamente el pH podría resultar ligeramente más ácido (de 4.8 a 5.0). Pero como se comprobará más adelante, la capacidad buffer del tepetate es muy amplia (Flores *et al.*, 1996) y además se observó que al momento de deshidratar el lodo el pH de la torta tiende a neutralizarse. De lo demás como se determinó al momento de la caracterización del lodo estabilizado, la dosis de APA no altera el contenido de sólidos (totales y volátiles), la materia orgánica, ni el contenido nutrimental, lo que dio pie a continuar con el proyecto.

3.1.5 Pruebas de tipo y dosis de polímero para acondicionar

En las pruebas preliminares en vasos de precipitado para elegir el polímero, se observó que con el ECOFLOC 6520, 5260, 4961 y 257, no se produjo la floculación del lodo (Foto 3.1. Mientras que el 6120 y el 6260 flocularon muy bien, especialmente el 6120, incluso con primera dosis de 2 mL (Foto 3.2). Estos resultados coinciden con los reportados para lodos fisicoquímicos de Jiménez *et al.*, 2001a. Cabe mencionar que el polímero 6120 es de tipo catiónico y que de acuerdo a lo mencionado por Haug *et al.* (1992), la mayoría de las partículas sólidas presentes en los lodos residuales poseen cargas negativas, lo que ayuda a que dicho polímero actué más fácilmente.

Foto 3.1 y Foto 3.2. Comparación del ECOFLOC 5260 y el ECOFLOC 6120 respectivamente.



Debido a que los resultados preliminares obtenidos con el polímero ECOFLOC 6120, fueron adecuados para separar de los sólidos del agua, se decidió hacer la prueba formal de REF (Anexo 1) con éste polímero y el lodo estabilizado con la dosis de 250 ppm de APA.

Como se observa en la Figura 3.7 es posible determinar el valor mínimo de la REF del lodo estabilizado al escoger el mínimo valor de la REF que fue de 2.95×10^9 cm/g, con una dosis de 1 mL polímero/L lodo que equivale a 7.9 kg/ton ST (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Valores de REF y de la dosis de polímero.

Volumen de polímero añadido al lodo (mL)	Resistencia específica de la torta (cm/g)	Dosis de polímero (kg/ton)
0.10	8.00E+11	0.79
0.30	4.10E+11	2.37
0.50	1.96E+11	3.95
0.70	1.39E+11	5.53
1.00	2.95E+09	7.89
1.20	3.92E+10	9.47

El volumen de agua separada gracias al uso del polímero con el menor valor de REF fue del 93%. La dosis que presentó una menor resistencia a la filtración se encuentra cercana a la media del intervalo propuesto por el fabricante de 5 a 15 kg/tonST. Comparando el resultado con la REF de 2.6 kg/tonST, obtenida para un lodo fisicoquímico (Zhao *et al.*, 2002), resulta ser tres veces mayor la del lodo biológico, tal vez debido a que el primero tiene un mayor contenido de sólidos con los cuales el polímero puede interactuar y un contenido de humedad menor.

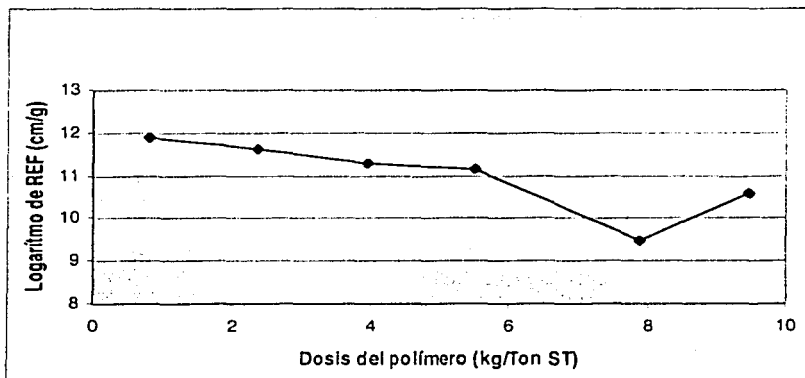


Figura 3.7. Resistencia Específica a la Filtración (REF), en el lodo estabilizado.

3.1.6 Caracterización del biosólido a aplicar, después de la deshidratación

La torta que se obtuvo al término de la deshidratación en el filtro prensa piloto se observa en la Foto 3.3. Al término del proceso, la torta de biosólido presentó un promedio de sólidos totales de 7.4% y 73% de sólidos volátiles. Lo anterior indica que el proceso de deshidratación logró reducir en un 86% el volumen total del biosólido. Por lo que de esta forma se facilitarían los pasos de almacenamiento y transporte del lodo para realizar su futura aplicación o bien depósito. En cuanto a las características fisicoquímicas: pH de 6.5, un porcentaje de materia orgánica de 8.99, capacidad de intercambio catiónico total de 71 meq/100g, NTK de 46.2 g/kg, N-NH₄⁺ de 9.8 g/kg y N-orgánico de 36.4 g/kg, y fósforo y potasio totales de 5.38 y 1.35 g/kg respectivamente. Todas éstas características hacen del biosólido un material recomendable para restaurar el tepetate y nutrir el Cempasúchil.

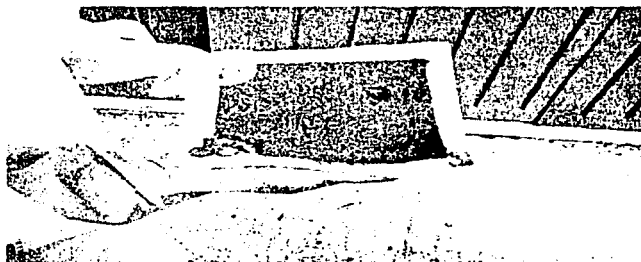


Foto 3.3. Torta de lodo después de la deshidratación en el filtro prensa piloto.

3.2 Elección de la especie vegetal

En ésta segunda etapa los únicos resultados que se pueden reportar son los de las pruebas de germinación y emergencia. Debido a que ya se mencionó en la metodología lo referente a la elección de la especie vegetal (Cempasúchil).

3.2.1 Pruebas de germinación y emergencia de Cempasúchil

De las dos casas semilleras probadas, las semillas que obtuvieron los mejores resultados de germinación y emergencia fueron las que se obtuvieron en la casa COBO con un porcentaje promedio de germinación del 80% y un 78% de emergencia, lo cual es el doble del porcentaje obtenido en germinación por la casa semillera de Xochimilco (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Porcentaje de germinación y emergencia de las 2 casas semilleras.

No. Frasco Casa Semillera*	Germinaron		% Germinación		Emergieron		% Emergencia	
	X	C	X	C	X	C	X	C
1	2	4	33.3	66.7	2	4	33.3	66.7
2	1	3	16.7	50.0	1	3	16.7	50.0
3	3	5	50.0	83.3	3	5	50.0	83.3
4	4	4	66.7	66.7	4	4	66.7	66.7
5	2	6	33.3	100.0	2	5	33.3	83.3
6	2	5	33.3	83.3	2	5	33.3	83.3
7	3	4	50.0	66.7	3	4	50.0	66.7
8	1	6	16.7	100.0	1	6	16.7	100.0
9	4	5	66.7	83.3	4	4	66.7	66.7
10	2	6	33.3	100.0	2	6	33.3	100.0
Promedio	2.4	4.8	40.0	80.0	2.4	4.6	40.0	76.7

- Nota: X =casa semillera de Xochimilco y C =casa semillera COBO.

Debido a los resultados obtenidos, por las semillas provenientes de Casa COBO, éstas fueron las que se seleccionaron para sembrarse y trasplantarse en el experimento de invernadero.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3 Aplicación del biosólido al tepetate

En esta tercera y última etapa se presentan, los resultados que abarcan desde la caracterización inicial del tepetate hasta la caracterización final del mismo después de haber aplicado las distintas tasas de aplicación del biosólido. Así como las mediciones de desarrollo del Cempasúchil a lo largo del período experimental. Lo anterior, con el fin de determinar el efecto de éste como enmienda para el Cempasúchil o mejorador de la fertilidad del tepetate

3.3.1 Caracterización inicial del tepetate

La Tabla 3.8, presenta la caracterización fisicoquímica del tepetate en estado inicial, con el objeto de conocer de qué condiciones se partieron antes de su habilitación con el biosólido. En general los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Díaz (2001) y García (2001), de tepetates de la misma zona. El material utilizado es un tepetate tipo duripán su color pardo amarillento en seco y pardo amarillento oscuro en húmedo, (Velázquez, 1997). El porcentaje de sólidos totales, es del 95%. El valor de pH en H₂O (6.6), lo clasifica como un suelo muy ligeramente ácido, lo cual coincide con Etchevers (1997), quien menciona que los tepetates presentan valores de pH, que pueden ser neutros, muy ligeramente ácidos o muy ligeramente alcalinos. En lo que concierne al porcentaje de materia orgánica, el valor promedio fue de 0.21%, lo que se considera como extremadamente pobre (Vázquez y Bautista, 1993) y concuerda con lo reportado por Zebrowski (1992), quien menciona que los tepetates son materiales prácticamente carentes de materia orgánica. En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico total, el material presentó valores que varían de medios a altos, con valores alrededor del 20.5 Cmol*kg⁻¹ (Vázquez y Bautista, 1993), con un máximo de 21.00 Cmol*kg⁻¹. Lo anterior coincide con lo reportado por Flores *et al.*, (1992, 1997), y Acevedo y Flores (2000), quienes lo atribuyen a la presencia de la sílice amorfa, la cual posee muchos sitios de intercambio. Los valores encontrados de todas las clases de nitrógeno (NTK, N-NH₄ y N-org), y de fósforo total son considerados extremadamente bajos (NOM-021-RECNAT-2002), menores a los 75 mg/kg lo cual también es usual en estos materiales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.8. Caracterización físicoquímica del tepetate en estado inicial

Color		Sólidos Totales	pH	M. O.	C	C.I.C.T.	NTK	N-NH ₄	N-org	P
Seco	Húmedo	(%)	pH (H ₂ O) (1:2.5)	(%)	(%)	(meq/100g)	(mg/kg)			
10YR 5/4	10YR 3/4	95	6.64	0.20	0.12	20.5	73.7	14.2	59.5	0.94
Pardo Amarillento	Pardo Amarillento Oscuro	±0.45	±0.01	±0.07	±0.50	±0.54	±17.9	±0.16	±18.0	±0.09

Los resultados obtenidos demuestran, la necesidad de mejorar las características físicas y químicas del tepetate para promover la formación del suelo y posteriormente, el crecimiento de una flora y biota adecuada y para contra restar los efectos de la erosión.

3.3.2 Cálculo de la tasa de aplicación del biosólido

3.3.2.1 Con base en la concentración de nitrógeno

El contenido de nitrógeno del biosólido en base seca, es: N-NH₄ = 9.82 g/kg y N-org = 36.43 g/kg. Lo que interesa es la cantidad de nitrógeno orgánico, pero como en el primer año una parte se mineraliza (40%), según el National Research Council *et al.*, (1996), se ajusta el cálculo como sigue:

$36.43 \text{ gN-org/kg} \cdot 0.4 = 14.57 \text{ g Norg/kg}$ disponible, más el nitrógeno:

$14.57 \text{ g/kg} + 9.82 \text{ g/kg} = 24.392 \text{ g N / kg ST}$ o $0.02439 \text{ kg N/kg ST}$.

Este valor se sustituye en la ecuación (6) que se mencionó en la metodología junto con la demanda de nitrógeno del Campasúchil de 180 kgN/ha (SEMARNAT, 2002), y queda:

180 (kg N/ha)

TA = _____

0.024 (kg N/kg ST)

TA = 7379.46 kg ST/ha o 7.37 ton ST/ha

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

si se toma en cuenta que en un litro de biosólido contiene 75.3 gST:

$$7.3 \frac{\text{TonST}}{\text{ha}} * \frac{1\text{Ton lodohumedo}}{0.0753\text{TonST}} * \frac{1000\text{kg}}{1\text{ton}} = 95.9\text{ton / ha}$$

$$95.9 \frac{\text{ton}}{\text{ha}} * \frac{1\text{ha}}{10000\text{m}^2} * \frac{0.0346\text{m}^2}{\text{maceta}} * \frac{1000\text{kg}}{1\text{ton}} * \frac{1000\text{g}}{1\text{kg}} = 338.6 \frac{\text{g biosólido}}{\text{maceta}}$$

Por lo tanto, la tasa agronómica en base húmeda es:

$$\text{TA} = \underline{338.6 \text{ g biosólido/maceta}}$$

3.3.2.2 Con base en la concentración de metales pesados

En la Tabla 3.9 en la columna de TA se muestra el valor máximo de biosólido que se puede aplicar sin exceder el límite de la concentración de metales pesados de acuerdo con la USEPA. Así, al comparar la tasa agronómica más pequeña que es la del arsénico (623 ton ST/ha), se observa que la tasa agronómica calculada de nitrógeno de 7.37 Ton ST/ha, es mucho menor. Por lo cual no existe riesgo de contaminación por metales al emplearla, incluso al disponer 50 veces la tasa agronómica. Por lo que en ningún momento se sobrepasan los límites de la NOM-004-SEMARNAT-2002, ni mucho menos los permitidos para aplicar en suelos que dicta la USEPA (1996).

Tabla 3.9. Contenido de metales en lodo estabilizado y tasa agronómica de metales.

Parámetros	Norma NOM-004	Biosólido (250 ppm)	Límite para suelos (USEPA)	TA con base en la [metales]
		(mg/kg)	(kg/ha)	(Ton ST/ ha)
Arsénico	75	65.8	41	623.0
Cadmio	85	0.1	39	609375.0
Cromo	3000	85.6	no hay límite	-
Cobre	4300	356.6	1500	4206.4
Mercurio	57	0.0	17	4358974.4
Níquel	420	30.6	420	13739.0
Plomo	840	154.5	300	1941.7
Zinc	7500	618.4	2800	4527.8

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002 y USEPA, 1996.

Con base en lo anterior, en los estudios de Lue-Hing, (1992), USEPA, (1995), Metcalf & Eddy, (1995), Girovich, (1996) y USEPA, (1997) y al considerar que el material para habilitar es un tepetate, se determinaron los tratamientos, que se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Tratamientos y tasas agronómicas del experimento.

No.	Tratamiento	Tasa Agronómica	Dosis de biosólido por maceta (g)	Clave
Tratamientos sin planta				
1	Tepetate	0	0	T
2	Tepetate + biosólido TA	TA	338.7	TTA
3	Tepetate + biosólido 10TA	10 TA	3339	T10TA
4	Tepetate + biosólido 20TA	20 TA	6777	T10TA
Tratamientos con planta				
5	Con planta	0	0	P
6	Con planta + biosólido TA	TA	338.7	PTA
7	Con planta y biosólido 10TA	10 TA	3339	P10TA
8	Con planta y biosólido 20TA	20 TA	6777	P20TA

* Tasa agronómica: corresponde a la tasa que cubre los requerimientos de nitrógeno de la planta seleccionada.

3.3.3 Cálculo de la lámina de riego

El cálculo indicó que la lámina de riego correspondiente a los meses de agosto a noviembre es de una dosis diaria por maceta de 61.6 mL/d.

3.3.4 Parámetros vegetativos del Cempasúchil

Los parámetros vegetativos, son los que muestran en sí el desarrollo de la planta a través de su ciclo de vida, que incluye la germinación, la emergencia, el crecimiento y la floración o fructificación. En éste sentido se llevaron a cabo las pruebas de germinación del Cempasúchil, se tomaron mediciones de su altura para obtener el crecimiento así como las necesarias para calcular la productividad (peso fresco y seco de flores, botones, tallos y raíz), a lo largo del período experimental. Con el fin de determinar las diferencias entre las distintas tasas agronómicas del biosólido, sobre la fertilidad del tepetate en términos de producción y desarrollo vegetal (mediciones

de altura, crecimiento, productividad, largo y el ancho de las hojas y otras anotaciones como la infiltración y cambios en la lámina de riego). De la misma forma se realizaron observaciones complementarias a lo largo de los cuatro meses del experimento en invernadero, que proporcionaron valiosa información del efecto de los tratamientos en el tepetate y en la planta.

3.3.4.1 Altura y crecimiento

De las mediciones de altura del Cempasúchil obtenidas a lo largo del experimento (al momento del trasplante, un mes después de éste y posteriormente cada semana), se calculó la diferencia entre la altura al momento del trasplante y la de cada nueva medición, con lo que se obtuvo el crecimiento. Los resultados de altura se muestran en la Figura 3.8, como promedio de las cuatro repeticiones de cada planta por maceta a lo largo de los cuatro meses del experimento. Al comparar entre los tratamientos, se puede distinguir que los P10TA son los que obtuvieron la altura más alta con un máximo de 133.2 cm, debido a que los ensayos con 10 veces la TA de biosólido le proporcionaron los nutrimentos necesarios para un desarrollo mayor al normalmente reportado con un máximo de 100 cm (Martínez, 1968). A este tratamiento le sigue el PTA con un máximo promedio de 80 cm. Cabe mencionar que de las cuatro plántulas del tratamiento P20TA, ninguna de ellas sobrevivió después de las dos semanas de haberlas transplantado, debido a que las 20TA adicionales resultaron ser tóxicas. Esto pudo deberse a que cuando el biosólido queda en contacto directo con las raíces de la planta, el contenido de humedad del biosólido genera un estrés hídrico que las plantas no pueden amortiguar, por lo que mueren (USEPA, 1996).

Cuando se sigue el crecimiento de una planta en función del tiempo y se mide el aumento de materia seca producida, expresando el máximo que se obtiene, ocurre una curva en "S" que expresa el hecho de que el crecimiento (altura acumulada) varía durante el desarrollo (Demolon, 1966).

Con respecto al análisis estadístico de la altura final y el crecimiento máximo de la planta, en los diferentes tratamientos se observa (Anexo, 3), que se presentan diferencias debidas a la cantidad de biosólido aplicada (tasa agronómica), en todos los casos. Excepto entre los tratamientos P y P20TA, ya que fueron los casos en los que las plantas no se desarrollaron del todo o murieron.

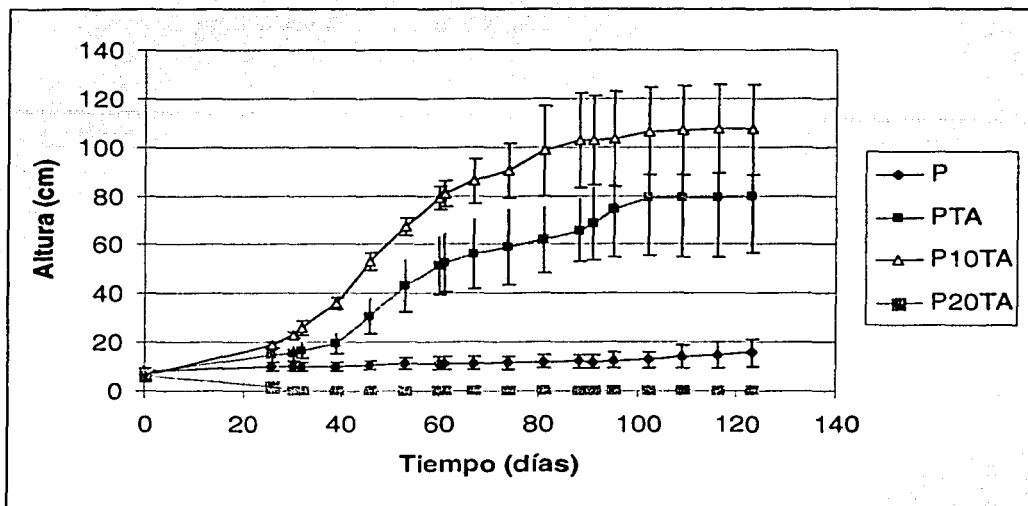


Figura 3.8. Altura de las plantas de Cempasúchil en los distintos tratamientos

Nota:

P = tratamiento con planta s/ biosólido

PTA = tratamiento con planta y con una tasa agronómica de biosólido

P10TA = tratamiento con planta y con 10 veces la tasa agronómica de biosólido

P20TA = tratamiento con planta y 20 veces la tasa agronómica de biosólido

El seguimiento del crecimiento a lo largo del experimento se puede ver en la Figura 3.9. En ella se aprecia que los tratamientos testigo prácticamente no reportaron crecimiento y que ninguna repetición alcanzó la altura mínima de 20 cm (Horticopia, 2001), lo que refleja una carencia de materia orgánica y nutrimentos, característica de los tepetales (Flores, 1996). En el tratamiento con TA, se observa un crecimiento que se puede llamar normal de acuerdo con lo reportado para el Cempasúchil con un crecimiento de 45 a 92 cm. En lo que respecta al tratamiento P10TA, el crecimiento es mayor al reportado con un intervalo de 87 a 126 cm, lo que representa ser casi 13 veces más que en los tratamientos testigo y 1.3 más que los de una tasa agronómica.

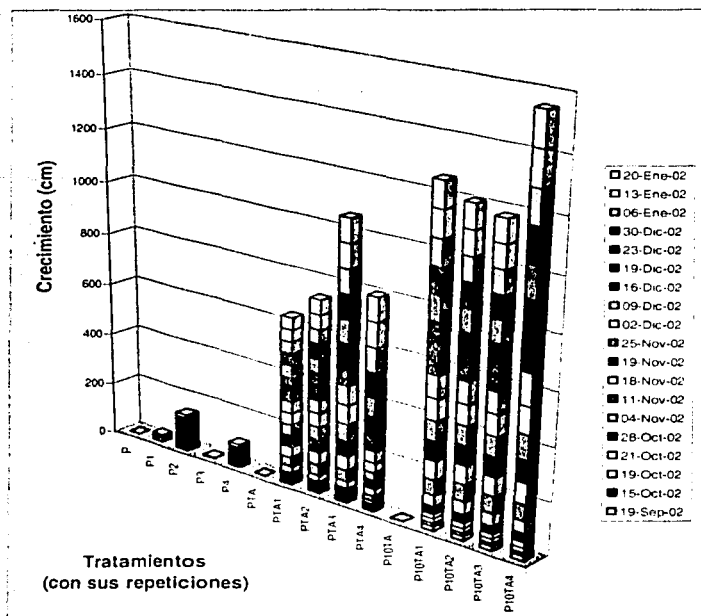


Figura 3.9. Crecimiento del Cempasúchil en los distintos tratamientos.

Ahora bien, el crecimiento y la velocidad del mismo a los 109 días del experimento se puede observar en la Tabla 3.11. El tratamiento P10TA obtuvo los valores más altos en cuanto a crecimiento y velocidad del mismo, con valor de 1.01 cm/d. Esto es 20 veces más rápido que los tratamientos testigo y 1.3 veces más que en los PTA. Lo anterior representa un crecimiento promedio de 7.90 cm para los P, 71.03 cm para los PTA y un 100.6 cm para los P10TA. En términos de porcentaje el tratamiento P10TA creció un 1173% más que el tratamiento testigo y casi un 42% más que en el PTA. A su vez, el tratamiento PTA creció nueve veces más que el P. Esto indica que el biosólido en las dosis de TA y 10TA es capaz de lograr un crecimiento que excede lo normal para el cultivo del Cempasúchil.

**Tabla 3.11. Datos de la velocidad de crecimiento de los tratamientos
a los 109 días del experimento**

Tratamiento	Crecimiento promedio (cm)	Velocidad de crecimiento (cm/d)	máximo	mínimo
P	7.90	0.05	0.46	0.00
PTA	71.03	0.76	2.78	0.00
P10TA	100.60	1.01	2.77	0.00
P20TA	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota:

P = tratamiento con planta s/ biosólido

PTA = tratamiento con planta y con una tasa agronómica de biosólido

P10TA = tratamiento con planta y con 10 veces la tasa agronómica de biosólido

P20TA = tratamiento con planta y 20 veces la tasa agronómica de biosólido

Al comparar el comportamiento de la gráfica de velocidad de crecimiento (Figura 3.10) con las obtenidas en la literatura (Benton, 1966), quien describe que primero la plántula comienza a crecer, después el desarrollo permanece sensiblemente constante y, por último, disminuye. Puesto que la planta joven sólo cuenta con un reducido sistema radicular y una pequeña superficie foliar, a medida que sus órganos se desarrollan su poder de asimilación aumenta y se da un máximo crecimiento. Después a partir de cierto estadio, éste crecimiento disminuye ya que la planta se prepara para el periodo de floración. Finalmente, se reporta (Demolon, 1965) que la mayoría de las plantas perennes puestas en invernadero justo después de la floración o también llamada descanso, manifiestan un último empuje de crecimiento hasta que termina por anularse.

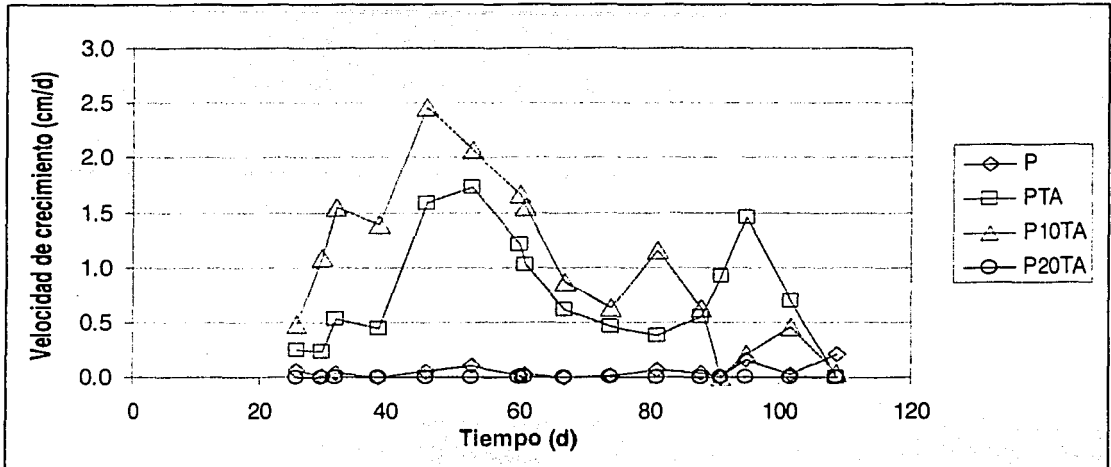


Figura 3.10. Velocidad de crecimiento a lo largo del periodo experimental

Para visualizar lo anterior las Foto 3.4, Foto 3.5, Foto 3.7 y muestran a los cuatro tratamientos a lo largo del ciclo vegetativo del Cempasúchil cada mes desde el trasplante.



Foto 3.4. Tratamientos con planta en el invernadero recién trasplantados 19/Sep/02.

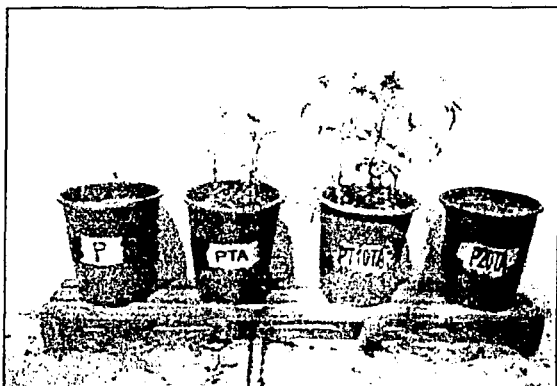


Foto 3.5. Tratamientos con planta al mes del transplante 19/Oct/02



Foto 3.6. Tratamientos con planta a los dos meses del transplante 19/Nov/02



Foto 3.7. Tratamientos con planta a los tres meses del transplante 19/Dic/02

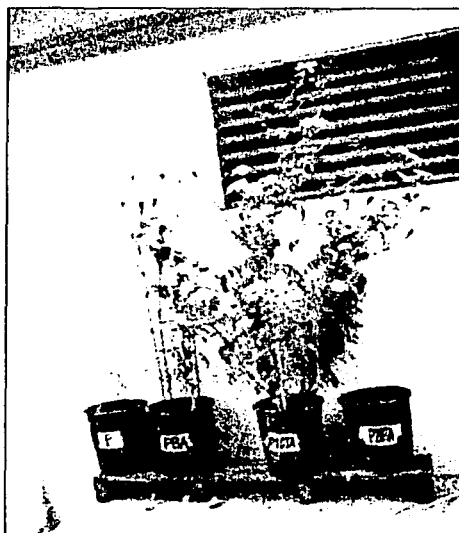


Foto 3.8. Tratamientos con planta en el periodo de máxima floración 13/Ene/02

3.3.4.2 Productividad

La productividad de las especies vegetales se define como la energía almacenada en forma de biomasa. Existen dos tipos de productividad: al total de la biomasa producida por fotosíntesis se le conoce como la *productividad bruta* y a la biomasa que es viable para el consumo se le llama *productividad neta*; se le contabiliza por medio del número de flores o frutos que estén presentes, así como por la calidad de los mismos; representada por el peso fresco y seco (Pidwirny, 2001). Para éste estudio se midió la productividad neta, en la Figura 3.11. se observa el incremento del número de botones y/o flores de cada uno de los cuatro tratamientos. Las plantas del tratamiento P10TA (Foto 3.9) presentaron el mayor promedio del número de botones y/o flores (55/planta), seguidas por las PTA (8/planta) y al último las P, que no presentaron ningún botón. Esto pudo deberse al incremento en las tasas agronómicas por el contenido de materia orgánica y nutrimentos del biosólido.



Foto 3.9. Producción de flores y botones del tratamiento P10TA al término del experimento.

Lo anterior indica, que mediante la aplicación de 10TA la productividad es casi siete veces más que la de la TA normal, lo cual es interesante en términos ecológicos y económicos. Además para el tratamiento sin adición de biosólido (P), la productividad fue de cero, lo que afirma que el tepalcate es

un material incapaz de brindar los nutrientes o materia orgánica, para el desarrollo adecuado del Cemпасúchil a estadíos productivos de manera independiente, (sin la adición de enmiendas).

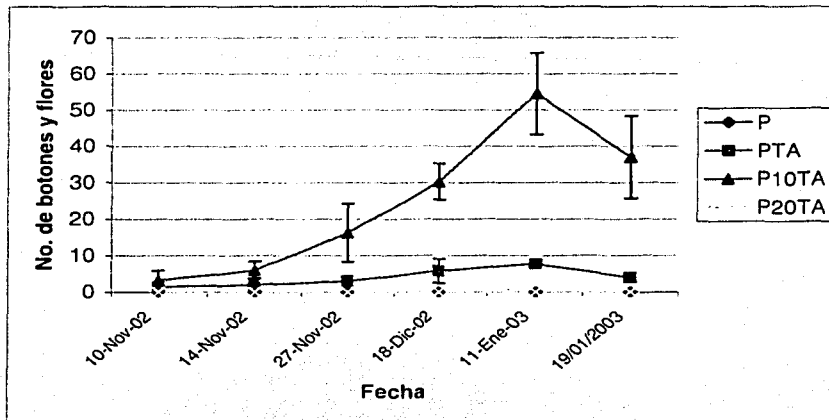


Figura 3.11. Número de flores y botones a lo largo del experimento.

Con respecto a los análisis estadísticos realizados a la productividad máxima (Anexo 3), ocurre exactamente lo mismo que para el crecimiento máximo y la altura final del Cemпасúchil. Se observa únicamente una igualdad estadística entre los tratamientos P y P20TA, lo que establece que no hay diferencias entre éstos tratamientos en cuanto a la productividad ya que ninguno de ellos presentó flores. Pero en cambio los tratamientos PTA y P10TA sí mostraron diferencias significativas entre ellos y entre los otros dos tratamientos (P y P20TA) ya que su productividad fue mayor, sobre todo para el tratamiento P10TA con un máximo promedio de 50 flores y botones por planta.

3.3.5 Mediciones de las flores, los botones, el tallo+follaje y la raíz del Cempasúchil

3.3.5.1 Mediciones de las flores

El peso fresco y seco, el ancho y largo así como el número de las flores, botones, tallo+follaje y raíz, se muestra en la Tabla 3.12. En cuanto a las flores, se observa que entre los tratamientos PTA y P10TA, existen diferencias sobre todo en cuanto al número de éstas con casi cuatro veces más flores por planta el tratamiento P10TA contra el PTA que sólo presentó 4.5 flores/planta. En la medición del peso fresco hubo poca variación de 0.19 g más pesadas las flores del tratamiento P10TA contra las del PTA, mientras que el peso seco es prácticamente el mismo. Debido a la carencia de información en cuanto al peso del Cempasúchil en la literatura, no se tiene un control con el cual comparar éste parámetro. En cuanto a las mediciones del ancho y largo de la flor, si hay diferencias siendo las P10TA las de mayor tamaño con 5.9 cm de ancho y 7.3 cm de largo, contra 5.0 y 6.9 cm en las flores del PTA.

Tabla 3.12. Mediciones de las flores, botones, tallo+follaje, hojas y raíz en los tratamientos.

Parte de la planta	Medición	P	PTA	P10TA
Flores	Número	-	4.5 ± 1.9	15.80 ± 2.2
	Peso Fresco (g)	-	4.79 ± 2.05	4.98 ± 2.61
	Peso Seco (g)	-	0.93 ± 0.44	0.90 ± 0.46
	Ancho (cm)	-	4.92 ± 1.12	5.58 ± 1.45
	Largo (cm)	-	7.09 ± 3.38	5.89 ± 2.16
Botones	Número	-	2.00 ± 1.15	29.00 ± 14.17
	Peso Fresco (g)	-	0.52 ± 0.43	3.17 ± 1.73
	Peso Seco (g)	-	0.05 ± 0.04	0.52 ± 0.29
	Ancho (cm)	-	0.83 ± 0.33	3.66 ± 3.42
	Largo (cm)	-	3.35 ± 0.74	3.05 ± 1.61
Tallo+Follaje	Peso Fresco (g)	0.89 ± 0.91	29.73 ± 22.49	73.14 ± 35.8
	Peso Seco (g)	0.24 ± 0.23	15.35 ± 2.49	26.67 ± 7.08
	Largo (cm)	14.95 ± 5.22	70.98 ± 23.11	93.58 ± 20.28
Hojas	Ancho (cm)	0.48 ± 0.04	1.08 ± 0.30	1.65 ± 0.16
	Largo (cm)	1.50 ± 0.14	4.55 ± 1.09	7.00 ± 0.75
Raíz*	Peso Fresco (g)	7.34	37.23	158.80
	Peso Seco (g)	0.81	18.32	87.43

Nota: las mediciones son promedio de las cuatro plantas de cada tratamiento, * excepto las de la raíz en donde sólo se realizó una medición.

En cuanto a la estadística de éstos parámetros (Anexo 3), se muestra que el peso seco y fresco de la flor se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos que produjeron flores (PTA y P10TA). De ellos el tratamiento que presentó las flores más pesadas fue el de P10TA, debido a que se desarrollaron de una forma adecuada por la presencia y asimilación de nutrimentos (Porta, 1999). Las mediciones de ancho de la flor y largo del pedúnculo no presentaron diferencias significativas, con valores promedio de 4.9 y 5.8 cm de ancho del tratamiento PTA y P10TA respectivamente.

3.3.5.2 Mediciones de los botones

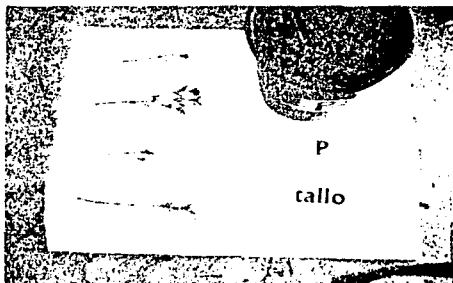
En cuanto a la producción de botones por planta (Tabla 3.12), existen diferencias muy marcadas entre el tratamiento P10TA y PTA. Ya que el P10TA produjo un promedio de 14.5 veces más botones que el PTA, lo que resalta lo que puede cambiar un mayor aporte de nutrimentos. De igual forma el peso fresco y seco de los botones es contrastante, ya que el tratamiento P10TA tuvo botones de 3.17g contra 0.5 g del tratamiento PTA. Así como lo que pasa en las mediciones de ancho el P10TA fue 4.4 veces más ancho que el PTA.

3.3.5.3 Mediciones del tallo + follaje y raíz

En cuanto al peso fresco, seco, y al largo del tallo+follaje y la raíz (Tabla 3.12), los valores del tratamiento P10TA, siempre fueron los más altos, seguidos por el tratamiento PTA, por último, se encontraron los valores que corresponden al tratamiento testigo (P). La importancia de que ya sea el tallo+follaje o la raíz, en ambos casos se habla de material orgánico vegetal en algún momento valioso para la fertilidad del suelo, así como para la fauna del mismo (Porta, 1999). El tallo del tratamiento P10TA fue 1.5 veces más pesado y 1.3 veces más largo que el PTA, la diferencia de contenido de tejido vegetal, podría convertirse en un futuro en abono verde para el tepetate. En lo que se refiere a la raíz el peso del tratamiento P10TA resultó ser el mayor, superando por 4.7 veces al tratamiento PTA y éste a su vez fue 22.6 veces mayor que el tratamiento testigo. Bathke *et al*, (1992) reporta que la raíz influye directamente sobre varios factores edáficos como lo son: la estructura y la agregación; por lo que un mayor contenido de raíces mejora éstas características y a

su vez ayudará a la mejor absorción de agua y nutrimentos para la planta. Además, de acuerdo con Etchevers *et al*, (1997), se menciona que el aporte de materia orgánica resultado del depósito y muerte del follaje y raicillas así como de los exudados radicales, promueve la formación de cementantes y compuestos orgánicos capaces de actuar como enlace en la fracción mineral, lo que formará agregados estables. Más adelante en el apartado de las características edafológicas analizadas en el tepetate se verá con más detalle como se refleja lo anterior. Las diferencias del tallo de los distintos tratamientos con planta se muestran en las fotos Foto 3.10, Foto 3.12 y Foto 3.13, y de manera estadística (Anexo 3) existen diferencias significativas entre todos los tratamientos. Lo anterior verifica como la presencia de nutrimentos adecuada puede modificar el largo del tallo y la cantidad de follaje entre los tratamientos.

Foto 3.10, Foto 3.11 y Foto 3.12 Diferencias entre el tallo de los distintos tratamientos.



Tratamiento P



Tratamiento PTA



Tratamiento P10TA

3.3.5.4 Mediciones de las hojas

En la Tabla 3.12 y Foto 3.13 se puede observar que existen diferencias entre el tamaño de las hojas y las flores de los distintos tratamientos. Incluso se observa que en el tratamiento testigo P, no existe flor alguna y que las hojas son más pequeñas que las del tratamiento PTA o P10TA. Sobre todo en la medición del largo de la hoja, se muestran diferencias ya que el largo de la hoja del tratamiento P es 3 y 4.6 veces más chico que la del tratamiento PTA y P10TA, respectivamente.

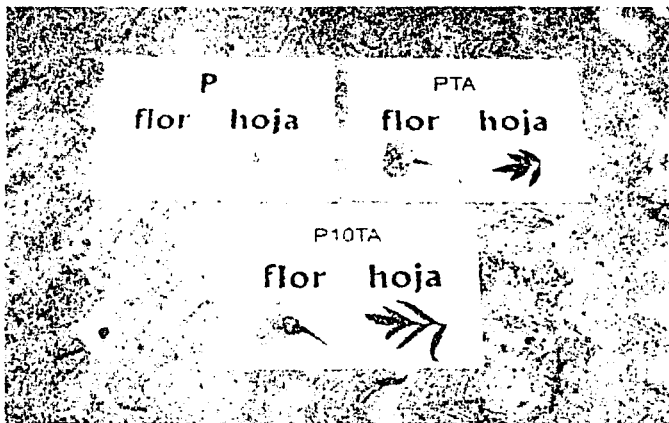


Foto 3.13. Diferencias entre las hojas y las flores de los distintos tratamientos con planta.

3.3.6 Observaciones complementarias

Estas anotaciones se refieren a ciertas conductas observadas en el invernadero, que no fueron estrictamente medidas pero que es importante mencionar, ya que reflejan cambios debido a los tratamientos, sobre la especie vegetal y sobre el tepetate.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3.6.1 Lámina de riego

Como se comentó con anterioridad la lámina de riego fue de 62 mL/maceta*d; sin embargo esta tasa solamente cubrió las necesidades de los tratamientos testigo (P). Aproximadamente al mes de iniciado el experimento los tratamientos PTA y P10TA mostraron una deficiencia del recurso hídrico, expresada por la caída de las hojas y tallos. Esto se debió a que las condiciones de evaporación en el invernadero superaron la inicialmente considerada, debido a su tamaño y a que al aumentar la biomasa, la demanda de agua resultó mayor.

Debido a lo anterior, al mes del trasplante se duplicó la lámina de riego, pero al mes y medio del experimento, de nuevo no fue suficiente, por lo que se triplicó a 186 mL/maceta*d. Esta medida fue suficiente para los tratamientos P y PTA, más no para el P10TA, por lo cual a los dos meses se tuvo que quintuplicar y a los dos meses y medio se tuvo que agregar 10 veces la cantidad seleccionada (620 mL/maceta*día). Esto fue debido al gran contenido de biomasa de este tratamiento, como se puede observar en la Foto 3.12, ésta fue mucho mayor que el de los otros tratamientos, ya que al aumentar el área foliar, ésta es directamente proporcional a la evaporación dada por la misma.

3.3.6.2 Infiltración

Se observó que en los tratamientos P, la infiltración se daba de forma rápida, debido a que la porosidad entre los fragmentos de los tepetates era grande, ya que no existía ningún factor de adherencia o agregación entre éstos, debido a la ausencia de materia orgánica. En los tratamientos PTA el agua de riego tardó alrededor de 13 veces más en infiltrarse que en los tratamientos P10TA, tal vez debido a que la biomasa en forma de raíces de los P10TA es considerablemente mayor que en los PTA y a que la agregación también es mejor en los P10TA, debido a la estructura que proporciona un mayor número de poros para el movimiento del agua (USDA, 2002). Esto habla de una buena combinación de los tratamientos con tasa agronómica adecuada aunado a la especie vegetal, en conjunto mejoran la estructura del suelo lo que permite la infiltración del agua.

3.3.6.3 Formación de agregados

El suelo consiste de partículas de arena, limo y arcilla unidos en conglomerados de distintos tamaños por medio de material orgánico e inorgánico. Estas partículas se unen formando agregados que son un grupo de dos o más partículas primarias, que se unen una con la otra de forma más fuerte que con las que están a su alrededor. La distribución del tamaño de los agregados del suelo es importante porque determina la susceptibilidad a la erosión del mismo y la estructura que a su vez afecta al movimiento, distribución y retención del agua y nutrimentos para las plantas (Tisdall, 1994). Además, la baja en la productividad de la mayoría de los suelos tropicales, por lo regular está relacionada con la reducción de agua y nutrimentos, resultado de la degradación de la estructura. Así, los suelos que no poseen una estructura estable, son mucho más susceptibles a la compactación. Pero se ha visto en numerosos estudios que la agregación se puede fomentar bajo la aplicación de materia orgánica, así como por las raíces y los microorganismos que ayudan a la estructuración del suelo, de forma directa e indirecta (Oades, 1993). Es por esto que al momento del desmonte de las macetas experimentales en el invernadero, se realizaron observaciones en los fragmentos del tepetate para ver si existían indicios de agregación. En la Foto 3.14 se observa que tanto la materia orgánica como las raíces del Cempasúchil penetraron en los fragmentos y formaron agregados entre éstos. Esta posible formación de agregados por efecto de las raíces del Cempasúchil, únicamente se encontró en los tratamientos PTA y P10TA, ya que es en donde existió un mayor desarrollo de las raíces del Cempasúchil. Se ha reportado que las raíces de las plantas ayudan a la estabilización por la agregación del suelo, las raíces fasciculares presionan y separan a las partículas del suelo durante el crecimiento. Las raíces al ramificarse separan y comprimen las partículas, además de que al morir incorporan materia orgánica al suelo (Marshall *et al.*, 1996).



Foto 3.14 Posible formación de agregados en el tepetate, por efecto de las raíces del Cempasúchil.

3.3.7 Parámetros Edafológicos del Tepetate

Los resultados de los parámetros edafológicos son: color, pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico total, nitrógeno total Kjeldahl, orgánico y amoniacal. Estos parámetros se realizaron con el objetivo de distinguir si las distintas tasas de biosólido aplicadas tuvieron algún efecto sobre la fertilidad del tepetate en los tratamientos con y sin planta.

3.3.7.1 Color

El color del suelo es la primera característica visible y fácil de determinar que puede indicar muchas otras ligadas a la fertilidad del suelo. Los agentes colorantes del suelo son la materia orgánica y otros elementos como el hierro, sulfuro y manganeso. Los suelos con colores negros oscuros son los que presentan un mayor porcentaje de materia orgánica (Porta, 1999). El color del tepetate tiende ser de pardo amarillento claro en seco a pardo amarillento oscuro en húmedo, sin embargo se puede apreciar en la Tabla 3.13. que a medida que se aumentó la tasa agronómica, el color tiende a oscurecerse del inicial típico pardo amarillento claro, hasta un café grisáceo en los tratamientos sin planta. En los tratamientos con planta el color se mantiene en pardo amarillento claro hasta el

tratamiento P10TA; pero el tratamiento P20TA (que realmente no tuvo planta porque se murieron), vuelve a ser gris parduzco claro. Lo anterior nos puede indicar que la materia orgánica (agente colorante) fue absorbida o mineralizada más rápido en el caso de los tratamientos con planta, junto con la acción disolvente del agua de riego (Turenne, 2002), lo que mantuvo los tonos más claros.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.13. Características edafológicas del tepetate con las distintas tasas agronómicas de aplicación y con y sin especie vegetal.

Tratamientos	Color				pH (H ₂ O)	M. O.	C	C.I.C.T.	NTK	N amoniacal	N orgánico
	Seco	Nombre	Húmedo	Nombre	(1:2.5)	(%)		(meq/100g)	(mg/kg)		
T	10YR 6/4	Pardo amarillento claro	10YR 3/4	pardo amarillento oscuro	6.5 ± 0.1	0.51 ± 0.4	0.30 ± 0.2	23.5 ± 2.8	73.7 ± 17.9	59.5 ± 18.0	14.2 ± 0.15
TTA	10YR 6/4	Pardo amarillento claro	10YR 3/4	pardo amarillento oscuro	6.1 ± 0.0	1.44 ± 0.6	0.84 ± 0.34	21.8 ± 6.2	154.6 ± 20.9	140.4 ± 20.9	14.2 ± 0.03
T10TA	10YR 6/2	Gris parduzco claro	10YR 3/4	pardo amarillento oscuro	6.1 ± 0.1	1.97 ± 0.1	1.15 ± 0.1	27.0 ± 3.1	1029.4 ± 277.8	972.4 ± 291.9	56.9 ± 14.5
T20TA	10YR 5/2	café grisáceo	10YR 3/2	pardo grisáceo muy oscuro	7.2 ± 0.1	2.13 ± 0.4	1.23 ± 0.2	42.3 ± 5.3	1648.1 ± 280.9	1334.9 ± 265.2	313.2 ± 36.8
P	10YR 6/4	pardo amarillento claro	10YR 3/4	pardo amarillento oscuro	6.5 ± 0.0	0.65 ± 0.3	0.38 ± 0.1	30.3 ± 9.4	81.3 ± 25.0	62.3 ± 18.2	19.0 ± 8.2
PTA	10YR 6/4	pardo amarillento claro	10YR 3/4	pardo amarillento oscuro	6.3 ± 0.1	1.48 ± 0.3	0.86 ± 0.2	31.7 ± 3.2	186.7 ± 49.4	163.0 ± 43.6	23.7 ± 8.2
P10TA	10YR 6/4	pardo amarillento claro	10YR 3/3	café oscuro	5.9 ± 0.2	2.38 ± 0.1	1.38 ± 0.1	29.2 ± 5.8	431.2 ± 161.9	402.6 ± 150.5	28.5 ± 14.3
P20TA	10YR 6/2	gris parduzco claro	10YR 3/2	pardo grisáceo muy oscuro	7.2 ± 0.0	2.91 ± 0.2	1.69 ± 0.1	39.3 ± 8.1	1318.7 ± 703.7	667.8 ± 636.7	647.9 ± 142.5

Nota: Los valores se tomaron como promedio de tres repeticiones

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

3.3.7.2 Porcentaje de materia orgánica

Una de las características más importantes de los lodos para que éstos sean considerados como mejoradores de suelo y/o enmiendas es su contenido de materia orgánica. Ésta contribuye a la fertilidad del suelo, especialmente mejora las propiedades físicas y químicas del mismo (Porta, 1999). En particular, los polisacáridos que aportan ayudan a unir las partículas del suelo para formar agregados, que son el primer paso para la formación del suelo (García, 2001). Por lo anterior, es lógico esperar una buena respuesta en el crecimiento de los cultivos al aplicar lodos.

La Tabla 3.13 contiene el resumen del porcentaje promedio de materia orgánica en las macetas bajo la aplicación de las distintas tasas agronómicas en los tratamientos con y sin planta. En general, los tratamientos equivalentes en cuanto a la tasa de aplicación del biosólido (T-P, TTA-PTA, T10TA-P10TA y T20TA-P20TA) presentaron porcentajes similares entre sí (Figura 3.12). Pero en los tratamientos con planta el contenido de materia orgánica siempre fue mayor, lo que pudo deberse al aporte orgánico de los exudados de las raíces.

Los tratamientos testigo (T y P) poseen un contenido de materia orgánica menor al 1% (Figura 3.12), es característico de los tepetates (Flores *et al.*, 1996), el ligero aumento del 0.4% en el tratamiento P puede deberse a que las raicillas de las plántulas se encontraban extendidas a todo lo largo y ancho de la maceta en busca de nutrimentos. En los tratamientos con una vez la tasa agronómica (TTA y PTA) el contenido de materia orgánica varió poco entre ellos (valores de 1.45 y 1.49%, respectivamente), pero son superiores a los testigo por tres veces. Al añadir la dosis de 10 veces la tasa agronómica, el porcentaje de materia orgánica aumenta considerablemente en ambos tratamientos (T10TA y P10TA) a 1.98 y 2.38% respectivamente, valores que son mínimo cinco veces más que los tratamientos testigo. El aumento del porcentaje de materia orgánica en el tratamiento con planta (P10TA), se debe a la gran cantidad de raíces y sus exudados y al material vegetal (apartado 3.3.5), de este tratamiento (Troeh y Thompson, 1988). Por último, los tratamientos con 20 veces la tasa agronómica (T20TA y P20TA), presentaron, lógicamente los porcentajes más altos de materia orgánica (2.13 y 2.91% respectivamente). Esto es casi seis veces más que en el tratamiento testigo y se debe directamente al contenido de biosólido aplicado por maceta, pues en este la dosis resultó excesiva e incluso tóxica para el desarrollo del Cempasúchil.

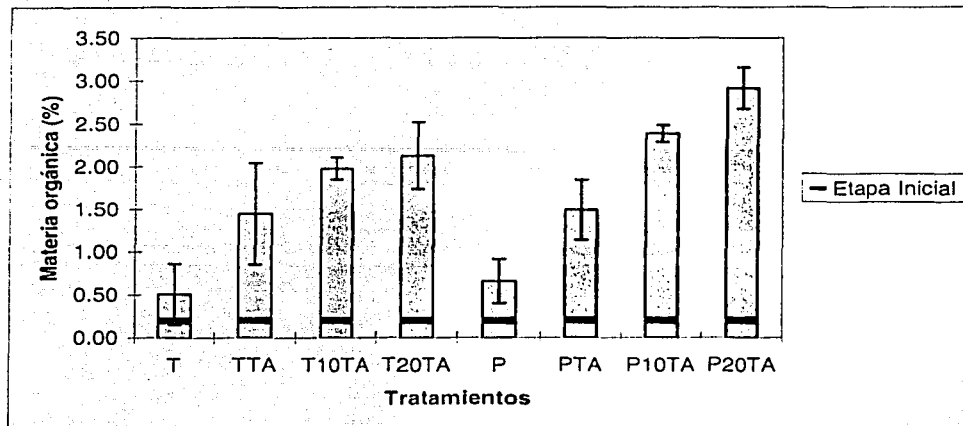


Figura 3.12. Contenido de materia orgánica del tepetate en los distintos tratamientos.

El análisis estadístico condujo a establecer el efecto de la aplicación de las distintas tasas agronómicas de biosólido fue significativo sobre el porcentaje de materia orgánica del tepetate. Pero, también se encontró que existen diferencias significativas debido a la presencia o ausencia de la planta sobre la materia orgánica, aunque el efecto no es tan alto como el obtenido por la tasa agronómica de aplicación. Como se mencionó, esto se debe al aporte orgánico del Cempasúchil al tepetate, bien sea por los exudados radicales o por el material vegetal muerto (hojas y raicillas).

Una vez que se comprueban las diferencias significativas en alguno de los factores, se usa como auxiliar en la interpretación de los resultados del experimento, la construcción de una gráfica de las respuestas promedio de cada combinación de tratamiento. En la Figura 3.13, muestra que las líneas del factor B con las del factor A son prácticamente paralelas, lo que demuestra que no existe interacción entre los dos factores (tasa agronómica + especie vegetal) sobre el contenido de materia orgánica del tepetate (Montgomery, 1991).

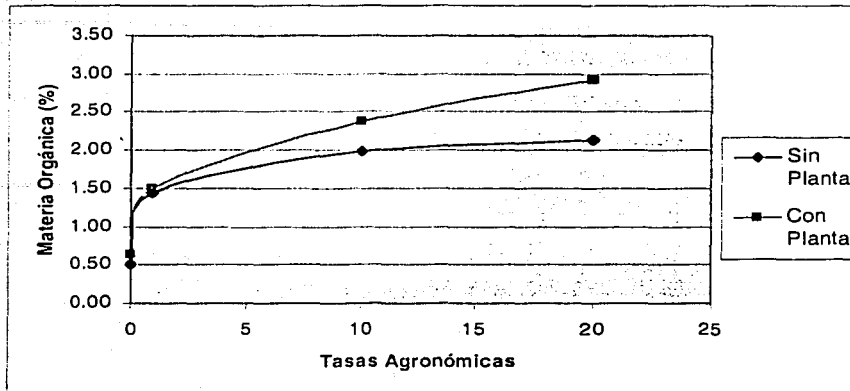


Figura 3.13. Tasas agronómicas contra la materia orgánica del tepetate.

Posteriormente, se realiza la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, de la misma forma en la que se realizó con el análisis microbiológico (3.2.1). Debido a que la diferencia causada por la planta no es altamente significativa, se decidió fijar ese valor y aplicar el análisis solamente para el factor A causado por la aplicación de las tasas agronómicas. Los datos de las comparaciones (Anexo 3) indican la existencia de diferencias significativas entre todas las tasas de aplicación, lo cual es lógico debido al alto contenido de materia orgánica de los biosólidos y a los intervalos tan diferentes entre las dosis.

3.3.7.3 Porcentaje de carbono orgánico

Este valor se calcula de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2002, que aún utiliza el factor de Van Belmen, y que supone que el 58% de la materia orgánica es carbono, por lo que se obtuvo este parámetro de forma indirecta. Es decir que el comportamiento es el mismo que el del porcentaje de materia orgánica (Tabla 3.13). El porcentaje más alto se alcanza con los tratamientos con 20TA con 1.69%, lo que se considera como altos de acuerdo con (Etchevers, 1997). Esto puede indicar que al tener un contenido de carbono adecuado, la biomasa microbiana podría incrementarse.

3.3.7.4 pH

La importancia del valor de pH del suelo radica en la viabilidad de los nutrientes necesarios para las plantas, por lo que la eficiencia de las enmiendas que fluctúa entre un 25 y 100% puede verse directamente afectada por éste parámetro (Benton, 1966). Ya que el intervalo de pH adecuado para el desarrollo de la mayoría de las plantas varía de 6.5 a 7.5. En la Figura 3.14, se observa que el pH de los tratamientos testigo ya sea con o sin planta es similar con un valor alrededor de 6.5 unidades, un poco más al original de 6.6, quizá por el agua agregada durante el periodo experimental. Para el experimento con una tasa agronómica, el pH del suelo se acidifica de 6.5 a 6.1, lo que refleja la capacidad buffer de los tepetates reportada por (Flores *et al.*, 1996). Con la dosis de 10TA, el pH en los tratamientos sin planta toma un valor cercano a las seis unidades y en los tratamientos con planta el pH se acidifica aún más obteniendo el valor más ácido de todos los tratamientos de 5.8. Esto pudo deberse a que ese tratamiento es el que contiene una mayor cantidad de raíces que a su vez producen ácidos orgánicos y exudados que aumentan el pH del medio (Velásquez, 1997). Finalmente, con la última dosis de 20 tasas agronómicas el pH en ambos tratamientos con y sin planta, sube y alcanza valores neutros a muy ligeramente alcalinos (NOM-021-RECNAT-2002) que van de 7.2 y 7.1 respectivamente. Este comportamiento puede estar ligado con un estado de anaerobiosis que se dio en ambos tratamientos debido a la cantidad excesiva de lodo, la cual no permitió el intercambio ni la penetración de oxígeno a la maceta, sobretodo en la parte inferior. Los que pudo activar la población de bacterias metanógenas y a su vez la producción de metano, lo que aumento el valor de pH.

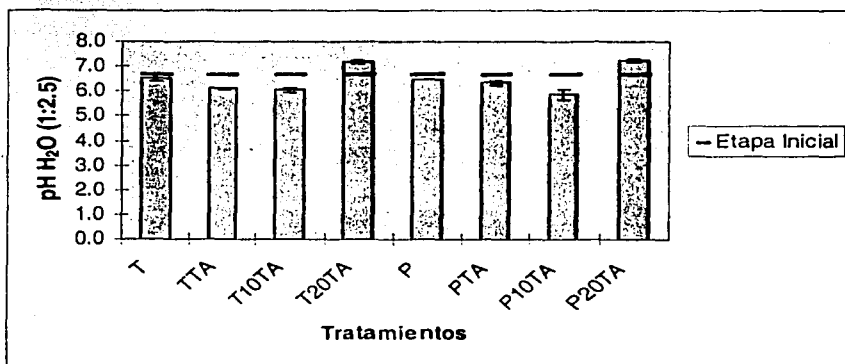


Figura 3.14. pH del tepetate con las distintas tasas agronómicas de aplicación

En el análisis estadístico (Anexo 3), se reporta que existen diferencias significativas entre todos los tratamientos, principalmente por efecto de la aplicación de las distintas dosis de biosólido a las macetas; mas no existe efecto directo de la especie vegetal sobre éste parámetro.

3.3.7.5 Capacidad de intercambio catiónico total

La capacidad de intercambio catiónico es una propiedad química a partir de la cual es posible inferir acerca del tipo de arcilla presente, de la magnitud de la reserva nutrimental, el contenido de materia orgánica y del grado de intemperismo de los suelos (Benton, 2001). Los valores de CICT que van de medios a altos (15 a >40 meq/100g), indican la presencia de arcilla y de materiales primarios intemperizables. Por lo que respecta a la reserva nutrimental se considera abundante cuando la CICT es mayor de 25 meq/100g (NOM-021-RECNAT-2002).

Los resultados del contenido de CICT se presentan en la Tabla 3.13, indican que se presentó prácticamente el mismo comportamiento de alza en los tratamientos con y sin planta conforme se incrementó la dosis de biosólido, con intervalos de 23.5 a 42.3 y de 30.3 a 39.3 (meq/100g) respectivamente. En general, todos los valores van de medios a muy altos de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2002, ya que per se los tepelates contienen grandes concentraciones de arcilla y de minerales que proporcionan sitios de intercambio.

En lo que respecta al análisis de varianza (Anexo 3), se comprueba la hipótesis alterna del Factor A (tasa agronómica), por lo que al menos un tratamiento es diferente en el contenido de CICT con base a la tasa agronómica agregada. Con respecto al factor B (especie vegetal), los resultados no fueron significativos, lo que indica que la presencia o ausencia de la planta no influyó de forma estadísticamente significativa en la CICT. Debido a las diferencias obtenidas con las distintas dosis de biosólido, se realizó el análisis de Duncan para determinar entre qué tratamientos se encontraban las diferencias. Los resultados (Anexo 3) indican que únicamente los tratamientos con 20TA presentaron diferencias significativas contra todos los demás. Esto se puede corroborar de manera gráfica en la Figura 3.15, en donde se observa que esos dos tratamientos (T20TA y P20TA) obtuvieron valores considerados como muy altos por la NOM-021-RECNAT-2002 de 42.33 y 39.33

respectivamente. Lo anterior pudo deberse a que la CICT aumenta de acuerdo a la cantidad de arcillas y materia orgánica presentes (Agropecstar, 2002). Pese a que por sí sólo el tepetate es un material carente de materia orgánica, la tasa agronómica agregada le proporcionó la materia orgánica necesaria para incrementar el valor de CICT, además de que el tepetate es un suelo predominantemente arcilloso (Flores *et al.*, 1996), lo que esta incrementa apreciablemente la CICT del tepetate.

Con respecto a los demás tratamientos, los valores de los testigo (T, TTA, P y PTA) fluctuaron de 23.5 a 42.3 (meq/100g) correspondientemente, éstos son valores considerados de medios a altos (NOM-021-RECNAT-2002) y representativos de los tepetates. El tratamiento T presentó el valor más bajo de (23.5 meq/100g), lo que pudo deberse los procesos de microagregación del suelo que al incrementarse a lo largo del experimento, promueven que las partículas de menor tamaño se unan, disminuyendo la superficie de reacción y por lo tanto la CICT (Acevedo y Flores, 2000). Además, Velásquez (1997) indica que la presencia de sílice amorfa del tepetate actúa como cementante, que une las partículas del suelo y reduce la superficie de reacción.

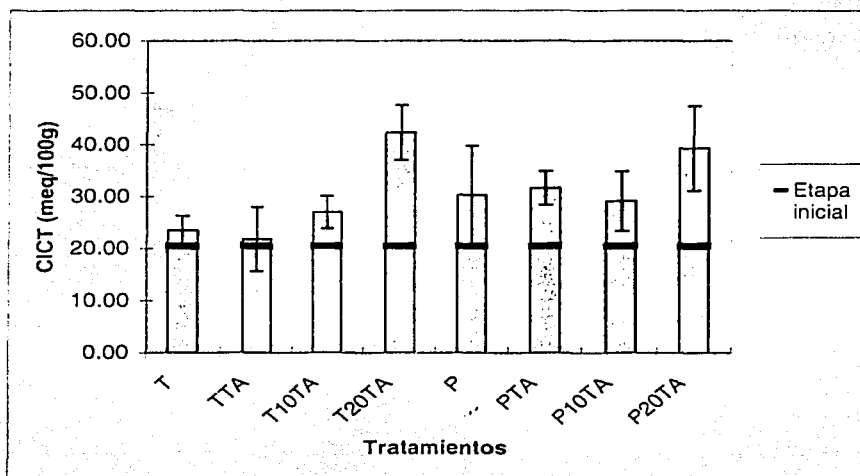


Figura 3.15 Capacidad de intercambio catiónico total del tepetate en los distintos tratamientos

3.3.7.6 Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)

Los resultados de NTK, se muestran en la Tabla 3.13. y Figura 3.17 se puede observar que el comportamiento entre los tratamientos con y sin planta es similar, el contenido se incrementa de forma directamente proporcional al incrementar la dosis de biosólido. Con un intervalo amplio de valores que van de extremadamente bajos a extremadamente altos de 73.7 a 1648.15 mg/kg en los tratamientos sin planta y de 81.3 a 1318.7 en los tratamientos con planta (NOM-021-RECNAT-2002).

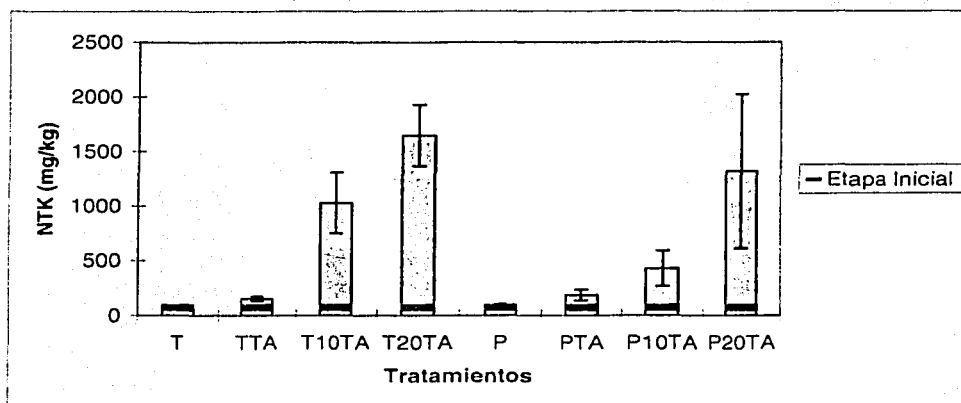


Figura 3.16. Contenido de NTK en el tepetate bajo la aplicación de los distintos tratamientos.

En cuanto a las comparaciones estadísticas realizadas (Anexo 3), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con dosis altas de biosólido (10 y 20TA). Esto se debe a que las concentraciones de NTK cambian significativamente en éstos tratamientos, factor que se puede ver reflejado en las condiciones del tepetate en el tratamiento P20TA y de la planta para el tratamiento P10TA; ya que el nitrógeno sirve para que la planta realice la síntesis de proteínas, enzimas y algunas de algunas vitaminas necesarias para el desarrollo de los tejidos (Mirat, 2003). De la misma forma se observó que cuando existe un exceso de nitrógeno se puede provocar la muerte de la planta, caso que ocurrió en el tratamiento P20TA que murió a las dos semanas del trasplante (Porta, 1999). En general se puede decir que la insuficiencia de nitrógeno, en éste caso representada con

los tratamientos P y T, ya que las características edafológicas y vegetales concuerdan con lo reportado por la literatura (Troeh y Thompson, 1988). Ya que se menciona que las hojas se tornan de color verde amarillentas, con vegetación raquítica, desarrollo vegetativo lento y disminución del rendimiento de las plantas lo que se discutió con anterioridad en el apartado 3.3. Los tratamientos P10TA y PTA y el PTA y P no presentaron diferencias significativas. También se puede observar que los tratamientos sin planta contienen respectivamente con la tasa agronómica mayor cantidad de nitrógeno que los tratamientos con planta, lo que reitera que la planta pudo haber absorbido parte de ese nitrógeno. Los valores de NTK que se presentaron en los tratamientos que tenían 20TA (T20TA y P20TA) fueron muy altos (NOM -021-RECNAT-2002).

3.3.7.7 Nitrógeno Amoniacal

El contenido de nitrógeno amoniacal es importante debido a que es la forma de nitrógeno que se asimila de forma más rápida por parte de las plantas. Las concentraciones de nitrógeno amoniacal se presentan en la Tabla 3.13 y la Figura 3.17, los valores en los tratamientos sin y con planta varían de 14.2 a 313.2 mg N-NH₄⁺/kg y de 19.0 a 647.8 mg/kg N-NH₄⁺, respectivamente. Lo anterior indica que al igual que lo que ocurrió para el NTK el intervalo va de concentraciones consideradas como bajas a valores considerados como altos y adecuados para el desarrollo de las plantas (NOM-021-RECNAT-2002).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

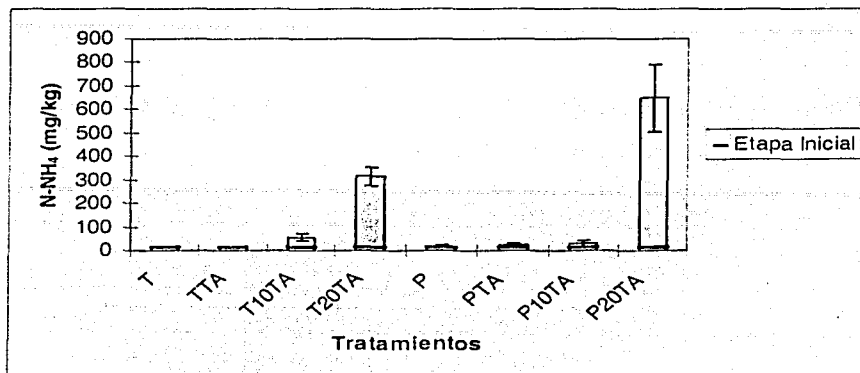


Figura 3.17. Concentración de nitrógeno amoniacal en el tepetate con los distintos tratamientos.

El análisis estadístico (Anexo 3), muestra que los dos factores (tasa agronómica y especie vegetal) causan diferencias significativas entre los tratamientos. Aunque posteriormente se realizaron las comparaciones de medias múltiples de Duncan para detectar en qué tratamientos se encontraban estas diferencias, solamente el tratamiento con la dosis de 20TA fue estadísticamente diferente, con todos los demás. Este comportamiento pudo deberse que por ejemplo para el caso del tratamiento P20TA se comporta igual que el tratamiento T20TA, debido a que las plantas en el tratamiento sólo permanecieron dos semanas debido al efecto de toxicidad causado por el biosólido, por lo que en ninguno de éstos tratamientos existe la planta que absorba el nitrógeno amoniacal. Además, las macetas experimentales no contaban con orificios por donde se lixiviaría el nitrógeno. El caso anterior es contrario de lo que sucede con los demás tratamientos con planta (Figura 3.17), en donde se observa que el Cempasúchil fue capaz de absorber nitrógeno amoniacal presente (Porta, 1999). Esto se ve mejor representado con el tratamiento P20TA que al compararlo con su homólogo T10TA, se observa una disminución de 1335 a 403 mg NH₄⁺/kg lo que es 3.3 veces más lo que se absorbió por la planta. De acuerdo con Troeh y Thompson, (1988), el nitrógeno amoniacal puede ser absorbido por la planta a una velocidad distinta dependiendo de la fase de crecimiento de la planta que se trate. La absorción se da con una velocidad mayor cuando la planta es joven y así la velocidad de absorción va disminuyendo conforme la planta va creciendo, debido a que la planta utiliza el nitrógeno antes de iniciar un nuevo crecimiento.

3.3.7.8 Nitrógeno Orgánico

El contenido de nitrógeno orgánico (Tabla 3.13) varió 60.0 a 1335 mg Norg/kg en los tratamientos sin planta y de 62.3 a 667.8 mg Norg/kg en los tratamientos con planta. Los únicos valores de tratamientos homólogos que son equiparables son los de los tratamientos T y P con valores cercanos a 66 mg Norg/kg. Los tratamientos con la adición de una tasa agronómica (TTA y PTA), presentan concentraciones que sobrepasan por más del doble a los tratamientos testigo. Además entre ellos TTA-PTA existe una pequeña disminución en el tratamiento con planta debido a los fenómenos de absorción. Lo anterior pudo deberse a que las plantas y los vegetales pueden absorber nitrógeno en exceso, mientras esté disponible y almacenarlo para utilizarlo más tarde cuando lo requieran (Troeh y Thompson, 1988). Al comparar la posible cantidad de nitrógeno orgánico absorbido con su tratamiento homólogo sin planta T10TA, el contenido de éste último resulta tener 313.4 (mg Norg/kg) más que el P10TA, lo que es 2 veces más que el mismo tratamiento sin planta. Sin embargo se tiene que considerar que la desviación estándar en éste tratamiento es muy amplia (Figura 3.18).

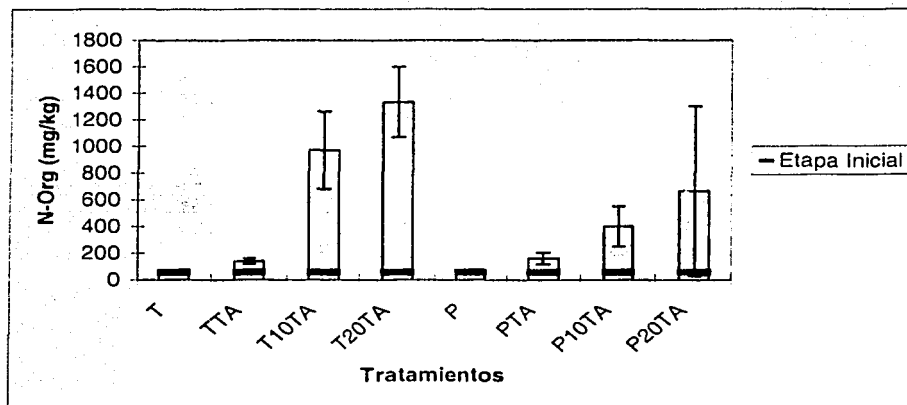


Figura 3.18. Contenido de nitrógeno orgánico en el tepetate con las distintas tasas agronómicas.

Estadísticamente (Anexo 3), los tratamientos que resultaron ser diferentes los de 20TA contra 0TA, 20TA contra 0TA y el de 10TA contra 0TA. En éste análisis también se concluyó que los dos factores examinados (tasa agronómica y presencia o ausencia de especie vegetal), fueron estadísticamente significativos sobre la concentración de nitrógeno del tepetate. Esto se puede corroborar en la Figura 3.4 del Anexo 3, en donde las líneas son prácticamente paralelas (Montgomery, 1996), sólo se entrecruzan en los tratamientos testigo lo que es lógico debido a la nula existencia de biosólido y a la poca influencia que causa en el tratamiento P la especie vegetal.

3.3.8 Análisis global

En general los resultados obtenidos se dirigen a la posible solución de dos problemáticas ambientales de forma viable (el reúso de los lodos residuales y la habilitación del tepetate). En primer lugar la estabilización de los lodos biológicos por medio del ácido peracético resultó eficiente en términos de remoción de patógenos. Consecuentemente, el acondicionamiento del biosólido con el polímero de tipo catiónico Ecofloc 6120 logró la remoción del 93% del agua y después de la deshidratación se obtuvo una torta de biosólido con una reducción del 86.5% del volumen total, lo que hace al biosólido manejable en términos de almacenamiento y transporte.

Ahora bien, la elección del tipo de suelo por habilitar y la planta que se eligió para sembrar resultaron ser opciones satisfactorias. Ya que la problemática nacional de los tepetates requiere de soluciones prácticas a base de enmiendas nutritivas y con materia orgánica. Así mismo el Cempasúchil es una especie vegetal rústica que se adecuó a las características del tepetate y que mediante su cultivo se pudo retribuir beneficios económicos a los agricultores.

Desde el punto de vista edafológico, todos los tratamientos en donde se adicionó biosólido incrementaron el porcentaje de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico total y el contenido de nutrimentos (nitrógeno). Lo cual es un indicador confiable de un aumento en la fertilidad del tepetate. En cuanto al desarrollo del Cempasúchil, en los tratamientos en donde se aplicó la tasa agronómica normal o diez veces más, la planta logró un adecuado desarrollo (típico) o bien superior al reportado en cuanto a la altura, el peso y la productividad. Lo anterior señala que el biosólido puede funcionar como enmienda o biofertilizante y que la tasa recomendable de aplicación

es la de diez veces la tasa agronómica, debido a la diferencia significativa en las mediciones de desarrollo. La aplicación de la máxima tasa de biosólido (20TA) resultó tóxica para el desarrollo del Cempasúchil debido al exceso de humedad y nutrientes, por lo que no se recomienda para el cultivo de la planta.

Cabe mencionar que en términos de habilitación de suelos se recomienda utilizar al biosólido junto con la especie vegetal, debido al efecto de agregación observado en ellos, que es propiciado por las raíces, así como el material vegetal que pueden aportar junto con las hojas y tallos.

Pese a que los resultados obtenidos son alentadores, es necesario realizar nuevos proyectos que prueben otras dosis del desinfectante y del biosólido; con distintas especies vegetales que permitan determinar de una mejor manera la opción del reúso del lodo en la habilitación del tepetate.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4 Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

- El ácido peracético:
 - no incrementa con el contenido de sólidos totales del lodo, lo que resulta favorable en términos de su almacenamiento y transporte.
 - no modifica el contenido de materia orgánica, ni del nitrógeno amoniacal del lodo, por lo que no daña las propiedades fertilizantes del mismo, lo que es útil para su uso agrícola o de mejorador de suelos.
 - alcanza valores por debajo del límite de detección en el parámetro de coliformes fecales, al reducir la concentración por más de seis unidades logarítmicas
 - en las dosis ocupadas, no representó un problema para acondicionar el lodo
- Al considerar que el número total de huevos de helmintos (viables y no viables) se mantuvo constante; y que la viabilidad de los huevos disminuyó del 96% en lodo crudo a un 11% con la dosis más alta de APA, se puede decir que los huevos de helmintos son inactivados más que destruidos.
- La determinación de los géneros de los huevos de helminto determinó que *Ascaris* fue no sólo el género más común, sino también el más resistente, ya que fue el único género que se encontró al aplicar la dosis de 1000 ppm de APA.
- Bajo la adición de la dosis óptima de polímero 1 mL (7.9 kg/ton ST) y la posterior deshidratación del lodo en un filtro prensa, se pudo obtener una torta de lodo con 7.4% de sólidos totales, que será más fácil de almacenar y transportar para su futura aplicación en suelos.
- El modelo modificado del producto Ct, entre las dosis de APA aplicadas, el tiempo de contacto (30 min) y la reducción de coliformes fecales o huevos de helmintos puede ser utilizado como una guía para obtener una eficiencia específica de desinfección. Las ecuaciones obtenidas pueden ser útiles para propósitos de diseño preliminar y para reducir los costos de operación de la PTAR.
- El APA, puede producir biosólidos clase B de acuerdo con la USEPA 503 con una dosis de 250 ppm. Así como producir biosólidos clase C y B que cumplan con la NOM-004-SEMARNAT-2002, con una dosis mayor de 500 ppm.

- Las plantas del tratamiento testigo (P), no alcanzaron el crecimiento mínimo reportado (20 cm) y tampoco fueron capaces de producir ningún botón o flor de Cempasúchil, debido a la carencia de nutrimentos y materia orgánica.
- La tasa agronómica de aplicación para el Cempasúchil, cubrió satisfactoriamente las necesidades naturales de la planta. Bajo la aplicación de 10 veces la tasa agronómica se obtuvieron los mejores resultados de crecimiento y floración. Por último, la dosis de 20 veces la tasa agronómica resultó tóxica para las plantas y les causó la muerte a las dos semanas del trasplante.
- El Cempasúchil influyó sobre la formación de agregados del tepetate en los tratamientos P, PTA y P10TA, así como en el aumento del contenido de materia orgánica del tepetate.
- El tratamiento P10TA resultó ser el óptimo para el desarrollo y la producción del Cempasúchil con una altura máxima de 133 cm. Con una diferencia en cuanto a la productividad de 55 flores y botones por planta, lo que es casi siete veces más que las del tratamiento PTA. El tallo fue 1.5 veces más largo y 1.3 veces más pesado que el PTA. La raíz resultó ser 4.7 veces más pesada que la del tratamiento PTA y 22.6 veces más que el tratamiento testigo (P).
- El porcentaje de materia orgánica se incrementó en los tratamientos con una, diez y veinte tasas agronómicas alcanzando valores por arriba del 2% en los tratamientos con planta y de casi 3% en los tratamientos sin planta, ambos con la tasa agronómica más alta (20TA).
- El pH final del tepetate en todos los tratamientos varió de 6.0 a 7.3, valores que no representan ningún riesgo para el suelo ni para el desarrollo del Cempasúchil.
- La capacidad de intercambio catiónico total del tepetate en los tratamientos con y sin planta fue alta, en todos los casos, y aumentó de forma proporcional al incrementar la dosis de biosólido aplicada.
- El contenido de los tres tipos de nitrógeno del tepetate al término del experimento fue absorbido por los tratamientos con planta para su desarrollo, sin embargo éste fue suficiente para cumplir con los requerimientos de la planta.
- La aplicación de lodos biológicos estabilizados con APA en tepetates mejora la fertilidad del mismo, lo que puede representar el principio de su habilitación hacia un proceso productivo.

4.2 Recomendaciones

- Experimentar dosis de ácido peracético superiores a 1000 ppm, para determinar si éstas logran inactivar un mayor número de huevos de helminto.
- Realizar pruebas de estabilización con distintos tiempos de contacto, para obtener una mejor aproximación de la modelación del producto Ct y determinar cuál es el tiempo de contacto óptimo del APA con el lodo biológico.
- Probar otro tipo de polímeros para el acondicionamiento del lodo, para ver si se puede facilitar la separación del agua de los sólidos totales y lograr un menor contenido de humedad.
- Probar tasas agronómicas intermedias entre las analizadas para ver los efectos y encontrar una dosis óptima más precisa
- Realizar más repeticiones en el experimento de invernadero, en donde la unidad experimental sea manejada por lotes, en vez de la planta de Cempasúchil.
- Ensayar la habilitación del tepetate con especies vegetales diferentes (forrajeras y forestales) con ciclos vegetativos más largos; pero que de preferencia no sean de consumo humano.
- Llevar a cabo el experimento a nivel de parcelas en campo, para determinar su viabilidad directamente en la zona de estudio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

LITERATURA CITADA.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, S.O.A. y Flores, R.D. 2000. Genesis of white fragipans of volcanic origin. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 17(2):152-162
- Acosta G. Gutiérrez, E. y Ramírez E. 1991. Poder fertilizante de lodos residuales del tratamiento de aguas servidas, Venezuela, 96-104.
- Agropectar. 2002 Manuales para la producción agropecuaria, en: <http://www.agropecstar.com/portal/portal.dll>
- Álvarez, S., Ferrera-Cerrato, R. y Etchevers, B. 2000. Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos, *Agrociencia*, México, 34:523-532 p.
- APHA., AWWA. y WEF. 1995. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 19ª ed. American Public Health Association, Washington, D.C., USA.
- Baldry, M.G.C., A. Cavadore, M.S. French, L.M. Rodrigues, P.F. Schirch y T.L. Threadgold. 1995. Effluent disinfection in warm climates with peracetic acid, *Water Science and Technology*, Vol. 31, (5-6),161-164.
- Barber, W.P. (2001). Low lime sludge pasteurization for further enhanced biosolids products. *Proceedings of the Joint CIWEM Aqua Enviro Consultancy Services 5th European Biosolids and Organic Residuals Conference*. Published by Aqua Enviro Consultancy Services, P. Lowe y J. Hudson, Editores. Seminar 8, paper 71. Wakefield, United Kingdom.
- Barrios, J. A., Jiménez, B., González, O. Salgado, G., Sanabria, L. e Iturbe R. Destrucción de coliformes fecales y huevos de helmintos en lodos fisicoquímicos por vía ácida. XII Congreso Nacional 2000. Ciencia y Conciencia "Compromiso Nacional con el Medio Ambiente". Morelia, Michoacán, 21 al 24 de marzo del 2000. pp 683-692.
- Barrios, J., Rodríguez, A., González, A. and Maya, C. 2001. Application of Peracetic acid to physicochemical sludge to reduce microbial content. Sixth European Biosolids and Organic Residuals Conference, Vol. I. 12-14 November, England.
- Bathke, G.R., Cassel D.K., Eargrove W.L., Porter P.M. 1992. Modification of soil properties and root growth response. *Soil Science* 154 (4): 316-329.
- Benedetti, A. 1995. La sostanza organica e l'azoto dei fanghi di depurazione delle acque: effetto sulla fertilità chimica e biologica. In *Aspetti tecnico-economici, agronomici, pedologici, igienico-sanitari e normativi dei fanghi di depurazione civile*. A cura di Ottavi C. Ottaviani, M. E FiglioliaA.. *Rapporti ISTISAN 95/38* (ISSN 1123-3117):114-127.
- Bontoux, M. Vega y D. Papameletiou. 1991. Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos, *IPTS* (Institutos del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea), en: <http://www.jrc.es/iptsreport/vol23/spanish/ENV2S236.htm>
- Bruce, A.M. 1984. *Sewage sludge stabilization and disinfection*, Water Research Centre, Ellis Horwood Limited, John Wiley and Sons, USA, N.Y. 623 p.
- Camargo, R.E.O. y Guido, A.L. 1987. Early cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter and microbial biomass. *Soil Science American Journal* 56: 115-119.
- Carrington, E.G. y Harman, S.A. 1984. The effect of anaerobic digestion temperature and retention period on the survival of *salmonella* and *Ascaris* ova, *Sewage sludge stabilization and disinfection*, A. Bruce (ed), Ellis Horwood Limited, UK, 369-380.
- Centro Ecológico Akum, (2002), Proposal to solve the pressing issue of contamination of the groundwater, from sewage sludge, organics and toxics, Centro de Manejo Integral de Residuos (CeMIR), Quintana Roo, en: http://ceakumal.org/bcenter_for_integrated_waste_management_project_-_cemirb.html

- Cherrington, C.A., M. Hinton and I. Chopra. 1991. Organic acids: chemistry, antibacterial activity and practical applications. *Advances in Microbial Physiology*, Vol. 32.
- Cisneros, M. y Campos R. 2000. Estudio sobre la factibilidad de reúso agrícola del lodo biológico obtenido a partir de aguas residuales combinadas de la Cd. de México. Segundo simposio Internacional de tratamiento y reúso de agua y residuos industriales, UAM Azcapotzalco, México.
- CIPCA (Colorado Industrial Pretreatment Associations).. 2002. *Tagetes erecta L.*, Marigold, Fichas técnicas, en: http://www.cipca.org.pe/cipca/informacion_y_desarrollo/agraria/fichas/marigold.htm
- Committee on the use of related municipal wastewater effluents and sludge in the production of crops for human consumption. 1996. Use of reclaimed water and sludge in food crop production, Water science and technology board, Commission on geosciences, environment, and resources, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., USA. 89 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1998. Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales 1997. Subdirección General Técnica, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, 120 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2001. Lodos que se generarán por cumplimiento de NOM-001-ECOL-1996. Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas. Comisión Nacional del Agua.
- Comunidad Económica Europea (CEE) (1986). Directiva 86/278/CEE (12/06/86) Protección del Medio Ambiente y, en particular, de los suelos en la utilización de los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales en agricultura. en: http://europa.eu.int/eur-lex/es/lif/dat/1986/es_386L0278.html
- Colgan, S. y Gehr, R. 2001. Disinfection, Peracetic acid gains favor as an effective, environmentally benign disinfection alternative for municipal wastewater treatment applications.
- Cochran, R., Millar, W., y Morris, L. 1997. Decomposition of pulp mill biosolids and effects on soil properties. *Agron. Abstr. USA*, 275 p.
- Cortion, G., Leboucher, G. y Bonnin, C.1999. A Flexible final route en: Proceedings of conference: Disposal and utilization of sewage sludge: treatment methods and application modalities, IAWQ, Athens, 33. 119-130, en: Spinosa, L. and Vesilind, P. 2001. Sludge into Biosolids, processing, disposal, utilization, IWA Publishing, United Kingdom, 394 p.
- De Luca, S.J., Idle, C.N., y Chao, A.C.1996. Quality improvement of biosolids, by ferrate (VI) oxidation of offensive odour compounds, *Wat. Sci. Tech.* 33 (3)119-130, en: Spinosa, L. and Vesilind, P. 2001. Sludge into Biosolids, processing, disposal, utilization, IWA Publishing, United Kingdom, 394 p.
- Demolon, A. 1966. Crecimiento de vegetales cultivados, Principios de agronomía, Tomo II, Ediciones Omega, 577 p.
- Díaz, A.J. 2001. Influencia de especies vegetales, abono y fertilizante, sobre algunas de las características químicas de tepetate fragmentado, en condiciones de campo, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F., 86 p.
- Diario Oficial de la Federación. 1987. NMX-AA-042 1987. Aguas, Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales, Método de tubos múltiples de fermentación.
- Diario Oficial de la Federación. 1999. NMX-AA-113-99. Aguas, Determinación y cuantificación de huevos de Helminto en lodos, afluentes y efluentes tratados.

- Diario Oficial de la Federación. 1996. NOM-001-ECOL-1993, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales,
- Diario Oficial de la Federación. 2003. NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.-Lodos y biosólidos especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Viernes 15 de Agosto del 2003.
- Diario Oficial de la Federación. 2002. NOM-021-SEMARNAT-2001, Norma que Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios de muestreo y análisis México, 77p.
- Endo, H., T. Kaneko and J. Mochizuki. 2001 New application of sludge stabilization, Specialized conference on sludge management: regulation, treatment, utilization and disposal, International Water Association, Acapulco, Mexico 410 p.
- EPA. 1994. Land Application of Sewage Sludge: A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the use and Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503. Water Environment Federation. USA., pp. 62.
- EPA. 1994a. A plain English guide to the EPA part 503 biosolids rule, Office of Wastewater management, Washington, USA, 177p.
- EPA. 1995. Process design manual, Land application of sewage sludge and domestic septage, Office of Research and development, EPA/625/K-95/001 Environmental Protection Agency Washington, DC 20460, USA.
- EPA, Ohio, 1997. Land application of sludge, Manual, Ohio State, USA, 61 p.
- EPA. 1999. Biosolids generation, use and disposal in the United States. Solid Waste and Emergency Response. EPA530-R-99-009.
- Etchevers, B.J.D., Zebrowski, C., Hidalgo, M.C. y Quantín, P. 1992. Fertilidad de los tepetates, Terra 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 385-391, México.
- Etchevers, B.J.D., Pérez M.A. y Navarro, H.G. 1997. Dinámica de la materia orgánica y el N en tepetates habilitados para la producción agrícola, *In* C. Zebrowski, P. Quantín y G. Trujillo (Eds.). III Simposio Internacional Suelos Volcánicos Endurecidos. Quito, Ecuador. p. 213-225.
- Flores R. D., Alcalá, M. J. R., González, V.A. y Gama, C.J.E. 1991. Los tepetates, Revista Geografía del instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), México, 3(4): 37-42.
- Flores R. D., Alcalá, M. J. R., González, V.A. y Gama, C.J.E. 1992. Suelos con fragipan de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo. El caso del Noreste del estado de Morelos, México, UNAM, Revista del Instituto de Geología, Vol. 10, No. 2 p. 151-163.
- Flores, R.D., Alcalá, M.J.R., González, V.A. y Gama, C.J.E. 1996. Duripans in subtropical and temperate subhumid climate of the trans - México Volcanic belt. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 13(2):228 - 239
- Flores R. D., Alcalá, M. J. R., González, V.A. y Gama, C.J.E. 1997. Duripan in subtropical and temperate subhumid climate of the trans-Mexico volcanic belt, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Volumen 13 Número 2, 228-239 p.
- Franco, O., Espinosa, F., López, A., González, N. Y Dendooven, L. 2000. Efecto de la aplicación de lodos residuales de la industria farmacéutica en el funcionamiento biológico de un suelo de mezquital, XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS, Brasil.

- Fraser, J.A., Godfree, A.F., and Jones, F. 1984. Use of Peracetic acid in operational sewage sludge disposal to pasture, *Water Science and Technology, Great Britain*, Vol. 17, 451-466 p.
- García C.A. 2001. *García, C. A. 2001. Agregación en Tepetate por influencia de Especies Vegetales, Abono y Fertilizante en condiciones de invernadero. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de México. México, D.F.*
- García-Piña, T. 2001. Aprovechamiento para la agricultura del Valle de Juárez de biosólidos estabilizados con cal provenientes de un tratamiento primario avanzado. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco, México, 173 p.
- Guerrero, E. G., Luna J. L., Caballero, O.E., 1992. Distribución de los tepetates en la República Mexicana, *Terra 10* (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 131-137.
- Girovich, M.J. 1996. *Biosolids treatment and management process for beneficial use*, Marcel Dekker, Inc. N.Y., USA, 453 p.
- Godfree A. F., Jones, F., Satchwell, M. and Watson, D.C. 1984. The effectiveness of chemical disinfection on faecal bacteria in sludge. In: *Sewage Sludge Stabilization and disinfection* (ed. A.M. Bruce). London. in: Spinosa, L. and Vesilind, P. 2001. *Sludge into Biosolids, processing, disposal, utilization*, IWA Publishing, United Kingdom, 394 p.
- González, G., A. 2002. Evaluación del tratamiento de lodo físico químico con ácidos acético y peracético para producir biosólidos, Facultad de Ciencias, Ciudad Universitaria, México, D.F.
- Hall, J. 2000. Sludge management in developing countries, In: *Proceedings of the joint CIWEM Aqua Enviro Consultancy Services, 5th European Biosolids and Organic Residuals Conference*, Lowe, P. and J. Hudson, UK.
- Harakeh, M.S. 1984. Inactivation of enteroviruses, rotaviruses and bacteriophages by peracetic acid, in a municipal sewage effluent, *FEMS, Microbiology letters*, Elsevier, USA, 23-70.
- Hartenstein, R. 1981. Sludge decomposition and stabilization, *Science*, 212, 743-748.
- Hernández, A. 1998. *Depuración de aguas Residuales*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Ed. Paraninfo, Madrid, España, 719-735 p.
- Horticopia. 2002. Plant Information, *Tagetes erecta*, American Marigold, en: <http://www.hortpix.com/pc4178.htm>
- Hidalgo C., J. D. Etchevers, Ma. A. Pérez, A. Vera, D. Flores y H. Navarro. 1999. Restauración de suelos volcánicos endurecidos. La experiencia del centro de México: Proyecto tepetates. In: C. Siebe, H. C. Rodarte, G. Toledo, J. Etchevers y K. Oleschko (Ed) *Conservación y restauración de suelos PUMA-UNAM*, México. p. 452-472.
- Jiménez, B., González, O., Salgado, G., Sanabria, L., e Iturbe, R. 2000. Destrucción de coliformes fecales y huevos de helmintos en lodos fisicoquímicos por vía ácida, XII Congreso Nacional Ciencia y Conciencia "Compromiso Nacional con el Medio Ambiente" FEMISCA, Vol I. 683-692, Morelia, México.
- Jiménez, B. 2001. La contaminación ambiental en México, causas efectos y tecnología apropiada, Limusa, México, 926 p.
- Jiménez, B., Maya, C. and Salgado, G. 2001. The elimination of helminth ova, faecal coliforms, Salmonella and protozoan cyst by various physicochemical processes in wastewater and sludge, *Water Science and Technology*, Vol. 43, No. 12 pp. 179-182.
- Jiménez, B., Barrios, J.A., Rodríguez, A., González, A. 2001a. Desarrollo de un proceso no convencional para producir biosólidos, Segundo Informe Anual, Instituto de Ingeniería, Coordinación Editorial UNAM, Proyecto 27770-T, México D.F., México.

- Jiménez, B. Barrios, J.A. y Cleverson, A. 2002. Biosolids management in developing countries: experiences in Mexico and Brazil, International Water Association, Water 21, August, 2002.
- Joklik, J., Willett, H., Amos, K. y Wilfert, N. 1998. Zinsser, Microbiología, 20a. Edición, Argentina, 1696 p.
- Joo, T., Show, K, Sze, H. 2002. Non-conventional building and construction materials from sludge, en: <http://www.ntu.edu.sg/Centre/wwwweerc/hsy.pdf>
- Lazarova, V., Janex, M.L. Fiksdal, L and Oberg, C. 1998. Advanced wastewater disinfection technologies: short and longterm efficiency. *Water Science and Technology*, 38, (12) 109-117p.
- Langlais y Triballeau. 1992. Tests on the disinfection of a secondary effluent using peracetic acid, In: Proceedings of the water management in coastal areas conference, Montpellier, France, 31, March.
- Lefevre, J, Audic, J..., and Ferrand, F. 1992. Peracetic acid disinfection of secondary effluents discharged off coastal seawater, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 25 No. 12 155-164 pp.
- Liberti, I. y Notarnicola, M. (1999). Advanced treatment and disinfection for municipal wastewater reuse in agriculture. *Water Science and Technology*. Vol. 40, No. 4-5, pp.235-245.
- Lue-Hing, C. Zenz, D.R., and Kuchenrither, R. 1992. Municipal sewage sludge management: Proceeing, utilization and disposal, Technomic Publishing Company, USA.
- Marshall, T.J., Holmes, J. and Rose, C. 1996. Soil physics, Cambridge, USA. 452 p.
- Martín del Campo, Vaca, R., Lugo, J., Esteller, M., Gómez, G., y Garrido, S. 2001. Application of municipal sewage sludge in broad bean cultivation (*Vicia faba*) in agricultural lands in the valley of toluca, México, Specialised conference on sludge management: regulation, treatment, utilization and disposal, International Water Association, Acapulco, 465 p.
- Martínez M. 1968. Las plantas más útiles que existen en la República Mexicana, Talleres Linotopográficos de H. Barrales, Suc. Donceles, México, D.F. 313 p.
- Martínez, T., Hinojosa, L.H., Romero, L., Olivares, E. 2001. Residual effect of biosolids, specialised conference on sludge management: regulation, treatment, utilization and disposal, International Water Association, Acapulco, Mexico 403 p.
- Metcalf y Eddy .1995. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización, McGraw-Hill, Tercera Edición, Madrid, 1459 p.
- Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos, Grupo Editorial Iberoamérica, USA, 589 p.
- Morris. 1993. Reduction of microbial levels in sewage sludge effluents using chlorine and peracetic acid disinfectants. *Water Science and Technology*. 27 (3), 387-393.
- Murillo, R., Barrios, J.A. y Jiménez, B. 2002. Aplicación de biosólidos como mejoradores de suelos salino-sódicos, FEMISCA, AIDIS, Expo Ambiental, XXII Congreso Nacional, Guanajuato, México, 601-605 p.
- National Academy of Sciences. 2002. Biosolids applied to land: Advancing standards and practices, Committee on toxicants and pathogens in biosolids applied to land, Barred on environmental studies and toxicology, Division on Herat and life studies, National research council, National Academy Press, Washington, DC, USA, 264 p.
- Navarro, G.H. y Zebrowski, C. 1992. Análisis agronómico comparativo en tepetate. *Terra* 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 450-459.

- Nimlos, T.J. 1987. Nomenclatura de horizontes endurecidos en suelos de cenizas volcánicas. In Ruiz Figueroa, J.F., Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Nacional Autónoma de Chapingo, México.
- Oades, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure, *Geoderma* (56):377-400p.
- Okuno, N. 2001. Production of usable materials, in: *Sludge into biosolids, Processing, Disposal, Utilization*, L. Spinosa and P.A. Vesilind, Ed. IWA Publishing, UK, 147-162 p.
- Owen, R.R. (1984) The effectiveness of chemical disinfection on parasites in sludge. En *Sewage sludge stabilization and disinfection*. Bruce, A.M. Editor. Ellis Horwood Limited, pp. 426-439.
- Ortiz, S.M.M. y Anaya, M.G. 1992. Aspectos sociales y económicos relacionados con los tepetates recuperados. *Terra 10* (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 534-538 p.
- Pedraza, C.E., Rodríguez, F.C. y Fierros, G.A.M. 1987. Establecimiento de cinco especies forestales en tres tipos de tepetates de la zona Tequesquihuac a Coatepec, Edo. de México. In: J.F. Ruiz F. (Ed.) *Uso y Manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. Universidad Nacional Autónoma de Chapingo. Chapingo, México p 128-140.
- Pezczar, M. J. y Reid R. 1991 *Microbiología* Ed. del Castillo SA, España. Peña D.H., Zebrowski C. 1992. Caracterización física y mineralógica de los tepetates en la vertiente Occidental de la Sierra Nevada. *Terra 10* (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 156-163.
- Peña D.H., Zebrowski C. 1992. Caracterización física y mineralógica de los tepetates en la vertiente Occidental de la Sierra Nevada. *Terra 10* (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 156-163.
- Pike, E.B. and Davis, D.R. 1984. Stabilisation and disinfection-their relevance to agricultural utilization of sludge, en: *Sewage sludge stabilization and disinfection*, Water Research Centre, Bruce, A.M. (ed.), Ellis Horwood Limited, John Wiley and Sons, USA, N.Y. 623 p.
- Pimentel, B. 1992. Cómo hacer productivos a los tepetates en México. *Terra 10* (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 293-301.
- Porta, C.J. 1999. *Edafología: para la agricultura y el medio ambiente*, Mundi Prensa. Madrid. 807p
- Quantin P., Arias H., Etchevers, J.D., Ferrera, R., K. Oleschko, K y Navarro, H.G. 1992. Tepetates de Mexico: Caracterización y habilitación para la agricultura Informe Científico Final, del proyecto NTS2-A-212-CCEE/ORSTOM/ Terra. 72 p
- Quimiproducos, S.A. de C.V. 2001. Perabac QPM, Desinfectante, Boletín Técnico, México, D.F. 3p.
- Rajala, M.S., Toivola, P.S. y Heinonen, T. 1997. Effects of peracetic acid and UV irradiation on the inactivation of coliphages in waste water, *Water Science and Technology*, Elsevier Science, Vol. 35 No 11-12, UK, pp. 237-241.
- Roth, L.A. and Keenan, D. 1971. Acid injury of *E. coli*, *Canadian Journal of Microbiology*, National Research Council of Canada.
- Romero, R. 1999. Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño, Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia, 1271 p.
- Sanabria, L. 2001. Estudio para determinar la factibilidad de producir biosólidos que cumplan con la normatividad de la US EPA, a partir de lodos generados en México, Tesis de Licenciatura, Fac. Ciencias, UNAM, México, D.F.

- Schaan, A., F. Sauvager, C. Mamez, A. Gaugeon and M. Cormick. 1996. Use of peracetic acid as a disinfectant in a water treatment plant: effect on the plasmid contents, Current Microbiology, N.Y., USA, 43-47 p.
- Semarnat. 2002. Especies con usos no maderables en bosques tropicales y subtropicales, *Tageles erecta* L., en internet: http://www.semarnat.gob.mx/pfnm2/fichas/tapetes_erecta.htm
- Sequi, P., F. Tittarelli and A. Benedetti. 2000. The role of sludge on the reintegration of soil fertility, in: Workshop on problems around sludge, Proceedings, Ed. H. Langekamp and L. Marmo, Europe.
- Soil Survey Staff. 1994. Claves para la taxonomía de suelos. Traducción de Carlos A. Ortiz Solorio, Ma. del Carmen Gutiérrez Castoreña y Jorge Luis García Rodríguez. Primera edición en español, 1995. Publicación especial 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS). Chapingo, México. 306 p.
- Soil survey staff. 1990. Keys to soil taxonomy: SMSS, Technical Monograph, no. 19, Fourth ed., 422 p.
- Soil taxonomy. 1988. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Rober E. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida, USA. 754 p.
- Solvay Interlox (1997). Hoja técnica del ácido peracético. Barcelona.
- Spinosa, L. and Vesilind, P. 2001. Sludge into Biosolids, processing, disposal, utilization, IWA Publishing, United Kingdom, 394 p.
- Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA). 2000. Morbilidad y Mortalidad en el 2000, Coordinación general de planeación estratégica, Dirección general de evaluación e Información, Epidemiología.
- Stampi, G. De Luca and F. Zanetti. 2001. Evaluation of the efficiency of peracetic acid in the disinfection of sewage effluents, Journal of Applied Microbiology, USA, 91, 833-838.
- Tamhane, R.V., Motiramani, D.P., Bali, P.B. y Donahue, R.L. 1986. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales, Ed. Diana, México, 483 p.
- Tisdall, J.M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils Plant and soil science, (159):115-121p.
- Troeh, F. and Thompson L. 1993. Soils and soil fertility. 5° ed. Oxford University press. USA. p. 89-147.
- Turenne, J. 2002. Soil Color, en: <http://nesoil.com/properties/color/>, USA.
- Unidad de suelos y riesgos, 2002. La conservación de suelos: un reto para el regadío aragonés, Surcos de Aragón, No. 69, España, en: <http://www.aragob.es/agri/surcos/69/estructuras.htm>
- US EPA. Federal Registry .1993. Part 503-Standards for the use or disposal of sewage sludge. 58 FR 9387, February 19.
- U.S. Filter. 2002. Wastewater project descriptions and clients, City of Morelos, Cuernavaca, México, en: <http://members.aol.com/erikschiiff/usf2.htm>.
- USDA. 2002. Infiltration, Rangeland soil Quality, Soil quality fact sheet, Natural Resources Conservation Service en: <http://soils.usda.gov/sq/files/RSQIS5.pdf>
- Vaca, R., Quinto, C., Gómez, B., Del Águila, J., Morquecho, C. y Lugo, F. 1998. Determinación de Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Zn, y Fe en la aplicación de lodos residuales como acondicionadores de suelos, en la producción de crisantemo polar a nivel de invernadero. Primer Simposio Latinoamericano de tratamiento y reúso del agua y residuos industriales, 27-I.
- Vázquez, A. y Bautista, N. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua, Universidad Nacional Autónoma de Chapingo, Departamento de Suelos, 26 p.

- Velázquez, R.A.S. 1994. Efecto de diferentes cultivos sobre la disgregación y alteración de tepetates del estado de Morelos en condiciones de Invernadero. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F., 125 p.
- Velázquez, R.A.S. 1997. Disgregación, alteración y agregación de dos niveles de fracturación de tepetates del estado de Morelos por especies vegetales perennes en condiciones de invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias (Edafología), Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 147 p.
- Velázquez, R.A.S. 1998. Los tepetates: historia arte y ciencia, Agencia mexicana de noticias, Asociación Mexicana de las Ciencias, Notas científicas, No. 62 en: http://www.amc.unam.mx/Agencia_de_Noticias/Notas_Cientificas/nc_62col-asvr-tepetate
- Velázquez, R.A.S., O. Acevedo, D. Flores. 2001. Formación de agregados en tepetate por influencia de especies vegetales, *Agrociencia*, México, 35:311-320.
- Ventura, E., D. Norton, J. Oropeza y B. Figueroa. 1999. Soil erosion o fan indurated volcanic soil from semiarid area of the Valley of Mexico, 10th International Soil Conservation Organization Meeting, May, Purdue University, and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, USA.
- Viessman and Hammer. 1993. Water suply and pollution control, 5th Edition, Harper Collins College Publishers, NY, USA, 848 p.
- Wong, J., Lai, K., M. Fang and K. Ma. 1998. Effect on sewage sludge amendement on soil microbial activity and nutrient mineralization, *Environment International*, Elsevier science, USA, Vol. 24, No. 8, pp 935-943.
- Working Document on Sludge 3rd Draft. 2000. Unidad Económica Europea, Brussels, Belgique, en: http://www.ewaonline.de/pages/sludge_en.pdf
- WWD. (2002). Disease fact sheet: Ascariasis, Written for World Water Day. Reviewed by staff and experts from the cluster on Communicable Diseases (CDS) and Water, Sanitation and Health unit (WSH). World Health Organization (WHO) en: <http://www.worldwaterday.org/2001/disease/ascariasis.html>.
- Wu, C.C., Huang, C. y Lee, D.J. 1997. Effects of polymer dosage on alum sludge dewatering characteristics and physical properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 122, pp. 89-96.
- Zhao Y.Q., E.N. Papavasiliopoulos, D.H. Bache and P.A. Mackinnon. 2002. Polymer conditioning of alud sludge and discrepancias between estimates of the optimum dosage *Water Science & Technology* Vol 46 No 10 pp 115-121.
- Zebrowski, C. 1992. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. *Terra* 10 (Número Especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 15-23.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXOS.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

1 Anexo I. Resistencia específica a la filtración (REF)

La resistencia específica a la filtración (REF) es una prueba que se utiliza para describir las condiciones del desaguado de los lodos, en especifica para determinar la dosis de polímero a usar para el acondicionamiento. El parámetro fue presentado por primera vez por Coackley y Jones en 1956 como parte de un intento para modelar la filtración al vacío de los lodos (Christensen, 1983) y genera un valor que es independiente, en teoría, de la concentración de sólidos del lodo. Sin embargo, algunos investigadores han reportado datos que sugieren que la REF es función de la concentración de los sólidos (Christensen y Dick, 1985). La resistencia específica a la filtración es una técnica utilizada para Las ventajas de la técnica son: la relativa sencillez de la técnica, el equipo y material no son costosos y que el tiempo que se requiere para hacerla es corto (medio día). El equipo que se utilizó para la prueba de la REF, se muestra en la Figura 1.1.

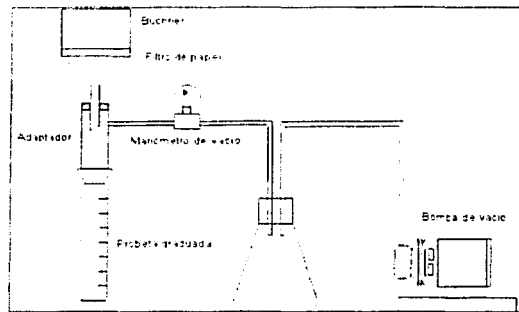


Figura 1.1. Equipo para la prueba de Resistencia Específica a la Filtración.

Típicamente se toman porciones de 100 mL de lodo y se registra el volumen filtrado a diferentes tiempos. Con base en la ecuación

$$r = \frac{2bPA^2}{\mu c}$$

Donde

- r : resistencia específica a la filtración (s).
- t : tiempo de filtración (s).
- V : volumen de filtrado obtenido al cabo del tiempo (m³).
- μ : Viscosidad dinámica del filtrado (N*s/m²)
- P : gradiente a la presión de vacío aplicada (N/m²).
- A : área del filtro, superficie filtrante (m²).
- b : pendiente de la curva t/V respecto de V(s/m⁶).
- c : masa de sólidos por unidad de volumen de filtrado (kg/m³)

2 Anexo II. Descripción del Cempasúchil



- Humedad: moderada.
- Separación entre plantas: de 7.6 a 10 cm.
- Altura de la planta: 25 a 110 cm.
- Color de las flores: amarillo y naranja
- Flores: son dobles, con un diámetro de 5.08 a 7.62 cm.
- Temperatura del medio de cultivo: 22 a 26.5°C
- Toxicidad: los síntomas pueden aparecer bajo la sobre aplicación de micronutrientes, más aún cuando las enmiendas son solubles en agua
- Hábitat: bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio, selva baja, mediana y alta perennifolia. También se desarrolla bien bajo condiciones de invernadero.
- Altura: se encuentra entre los 800 y 2590 msnm.
- Época de Germinación: 4 a 6 días.
- Época de trasplante: cuando las plántulas tengan de 2.54 a 5 cm. de altura.
- Época de Floración: 70 a 90 días después de la siembra.
- Época de Siembra: primavera (agosto-octubre) Verano (enero-febrero).
- Requerimientos de nutrientes (kg/ha)
- Nitrógeno: 180
- Fósforo: 120
- Potasio: 60
- Módulo de riego: 7,000 a 8,000 m³/ha
- Principales plagas: gusano de tierra, mosca minadora.
- Principales enfermedades: alternariosis
- Macetas de Invernadero:
- Diámetro: 12.7 a 17.78 cm.
- Profundidad mínima: 7.6 a 10.5 cm.
- Plantas por maceta: 1 a 3.

- Nombre Científico: *Tagetes erecta L.*
- Familia: Asteraceae.
- Variedad: Hawai naranja
- Nombre común: Cempasúchil (nacionalmente), Marigold (internacionalmente)
- Origen: América Subtropical (México)
- Requerimientos de luz: sol directo
- Fotoperíodo: 12.5 a 13 horas
- pH del suelo: 5.8 a 6.5, ya que si el pH es menor puede causar toxicidad por hierro, zinc y manganeso.
- Suelo: arcilloso
- Tipo de planta: anual

Tomado de: Semarnat, (2002), Evans, (2000) y Horticopia, (2001).

TESIS CON
FALLA DE CUBIERTA

3 Anexo III. Estadística

3.1 Microbiológicos

3.1.1 Coliformes fecales

Una vez comprobado que al menos un tratamiento es diferente, por efecto del APA, entonces se procedió a realizar una comparación estadística de medias múltiples de Duncan (Montgomery, 1991), para comparar las medias entre los tratamientos. Para esto, se colocaron los promedios de los tratamientos en forma ascendente

$$Y_1 = 0$$

$$Y_2 = 3.36$$

$$Y_3 = 4.75$$

$$Y_4 = 5.96$$

$$Y_5 = 5.96$$

Después se definió el error estándar de cada promedio con la fórmula:

$$SY_i = \sqrt{\frac{MS_E}{b}}$$

En donde SY_i: error estándar

MS_E: media de la suma de cuadrados del error

B: número de bloques

Sustituyendo:

$$SY_i = \sqrt{\frac{0.13}{3}} = 0.043 \text{ para 8 grados de libertad y un } \alpha=0.05.$$

Ahora se obtienen los intervalos significativos de Duncan, $\gamma\alpha(p, f)$ donde: $\gamma\alpha$ = intervalo obtenido de la tabla de γ correspondiente con α , p= tratamientos y f=grados de libertad. El número de intervalos se obtienen con $a - 1(5-1=4)$, quedando:

$$R_2 = r_{0.05}(2,8) \cdot SY_i = 3.26 \cdot 0.043 = 0.1401$$

$$R_3 = r_{0.05}(3,8) \cdot SY_i = 3.39 \cdot 0.043 = 0.1457$$

$$R_4 = r_{0.05}(4,8) \cdot SY_i = 3.47 \cdot 0.043 = 0.1492$$

$$R_5 = r_{0.05}(5,8) \cdot SY_i = 3.52 \cdot 0.043 = 0.1513$$

Al realizar las comparaciones entre los promedios de los tratamientos se tiene que se presentaron diferencias únicamente entre las dosis de 750 y 1000 ppm de APA.

$$1000 \text{ Vs } 0 : 5.96 - 0 = 5.96 > 0.1513 (R_5)^*$$

$$1000 \text{ Vs } 250 : 5.96 - 3.36 = 2.6 > 0.1492 (R_4)^*$$

$$1000 \text{ Vs } 500 : 5.96 - 4.75 = 1.21 > 0.1457 (R_3)^*$$

$$1000 \text{ Vs } 750 : 5.96 - 5.96 = 0 < 0.1401 (R_2)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

750 Vs 0 : $5.96-0 = 5.96 > 0.1492$ (R4)*
 750 Vs 250 : $5.96-3.36 = 2.6 > 0.1457$ (R3)*
 750 Vs 500 : $5.96-4.75 = 1.21 > 0.1401$ (R2)*
 500 Vs 0 : $4.75-0 = 4.75 > 0.1457$ (R3)*
 500 Vs 250 : $4.75-3.36 = 1.39 > 0.1401$ (R2)*
 250 Vs 0 : $3.36-0 = 3.36 > 0.1401$ (R2)*

3.1.2 Huevos de helmintos

Primero se colocan los promedios de los tratamientos en forma ascendente:

Y1= 0
 Y2= 33
 Y3= 60
 Y4= 74
 Y5= 90

Después se define el error estándar de cada promedio con la fórmula:

$$SY_i = \sqrt{\frac{MS_E}{b}}$$

En donde SY_i: error estándar

MS_E: media de la suma de cuadrados del error

B: número de bloques

Sustituyendo

$$SY_i = \sqrt{\frac{73.32}{3}} = 4.94 \text{ para 8 grados de libertad y un } \alpha=0.05.$$

Ahora se obtienen los intervalos significativos de la misma forma que en la prueba de conformes fecales.

$$R2= r_{0.05}(2,8) \cdot SY_i = 3.26 \cdot 4.94 = 16.11$$

$$R3= r_{0.05}(3,8) \cdot SY_i = 3.39 \cdot 4.94 = 16.76$$

$$R4= r_{0.05}(4,8) \cdot SY_i = 3.47 \cdot 4.94 = 17.15$$

$$R5= r_{0.05}(5,8) \cdot SY_i = 3.52 \cdot 4.94 = 17.40$$

Realizar las comparaciones entre los promedios de los tratamientos se tiene:

$$1000 \text{ Vs } 0 : 90.35-0 = 90.35 > 17.40 \text{ (R5)*}$$

$$1000 \text{ Vs } 250 : 90.35-33.92 = 56.43 > 17.15 \text{ (R4)*}$$

$$1000 \text{ Vs } 500 : 90.35-60.32 = 30.03 > 16.76 \text{ (R3)*}$$

$$1000 \text{ Vs } 750 : 90.35-74.22 = 16.13 > 16.11 \text{ (R2)*}$$

$$750 \text{ Vs } 0 : 74.22-0 = 74.22 > 17.15 \text{ (R4)*}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$750 \text{ Vs } 250 : 74.22 - 33.92 = 40.3 > 16.76 (R3)^*$$

$$750 \text{ Vs } 500 : 74.22 - 60.32 = 13.9 < 16.11 (R2)$$

$$500 \text{ Vs } 0 : 60.32 - 0 = 60.32 > 16.76 (R3)^*$$

$$500 \text{ Vs } 250 : 60.32 - 33.92 = 26.4 > 16.11 (R2)^*$$

$$250 \text{ Vs } 0 : 33.92 - 0 = 33.92 > 16.11 (R2)^*$$

3.2 Plantas

3.2.1 Peso fresco de las flores

Los resultados del análisis de variancia ANOVA del peso fresco de las flores, se presentan en la Tabla 3.1

Tabla 3.1. Análisis de variancia del peso fresco de las flores en los distintos tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F ₀
T (Dosis)	97.17	3.00	32.39	50.24
B (muestréos)	1.36	3.00	0.45	0.70
Error	5.80	9	0.64	
Total	104.33	15		

Debido a que la Fcalculada es mayor que la Ftablas, se concluye que si hay diferencias significativas entre los tratamientos. Por lo que se procede a realizar la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, por lo que se coloca el promedio de cada uno de las repeticiones de los tratamientos forma ascendente:

Y4	0.0
Y1	0.0
Y2	7.3
Y3	54.5

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.2. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.

Comparaciones	Resta de Promedios	Promedio del Intervalo	Intervalo	Diferencia Significativa
P10TA Vs P20TA	54.5	1.36	R4	*
P10TA Vs P	54.5	1.34	R3	*
P10TA Vs PTA	47.3	1.28	R2	*
PTA Vs P20TA	7.3	1.34	R3	*
PTA Vs P	7.3	1.28	R2	*
P Vs P20TA	0.0	1.28	R2	

3.2.2 Largo del tallo

Los resultados del análisis de variancia ANOVA del largo del tallo en los distintos tratamientos, se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Análisis de variancia del largo del tallo en los distintos tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F ₀
T (Dosis)	23848.69	3.00	7949.56	26.21
B (muestreos)	188.13	3.00	62.71	0.21
Error	2730.13	9	303.35	
Total	26766.95	15		

Debido a que la Fcalculada es mayor que la Ftablas, se concluye que si hay diferencias significativas entre los tratamientos. Por lo que se procede a realizar la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, por lo que se coloca el promedio de cada uno de las repeticiones de los tratamientos forma ascendente:

Y4	0.0
Y1	15.0
Y2	71.0
Y3	93.6

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.4. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.

Comparaciones	Resta de Promedios	Promedio del Intervalo	Intervalo	Diferencia Significativa
P10TA Vs P20TA	93.6	0.84	R4	*
P10TA Vs P	78.6	0.82	R3	*
P10TA Vs PTA	22.6	0.78	R2	
PTA Vs P20TA	71.0	0.82	R3	*
PTA Vs P	56.0	0.78	R2	*
P Vs P20TA	15.0	0.78	R2	*

3.2.3 Productividad máxima

Los resultados del análisis de variancia ANOVA de la productividad máxima (número de flores y botones) en los distintos tratamientos, se presentan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Análisis de variancia de la productividad máxima en los distintos tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F ₀
T (Dosis)	8278.19	3.00	2759.40	91.62
B (muestreos)	114.69	3.00	38.23	1.27
Error	271.06	9	30.12	
Total	8663.94	15		

Debido a que la Fcalculada es mayor que la Ftablas, se concluye que si hay diferencias significativas entre los tratamientos. Por lo que se procede a realizar la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, por lo que se coloca el promedio de cada uno de las repeticiones de los tratamientos forma ascendente:

Y4	0.0
Y1	0.0
Y2	7.3
Y3	54.5

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.6. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.

Comparaciones	Resta de Promedios	Promedio del Intervalo	Intervalo	Diferencia Significativa
P10TA Vs P20TA	54.5	9.36	R4	*
P10TA Vs P	54.5	9.17	R3	*
P10TA Vs PTA	47.3	8.78	R2	*
PTA Vs P20TA	7.3	9.17	R3	*
PTA Vs P	7.3	8.78	R2	*
P Vs P20TA	0.0	8.78	R2	

3.2.4 Crecimiento final

Los resultados del análisis de variancia ANOVA del crecimiento final en los distintos tratamientos, se presentan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Análisis de variancia del crecimiento final en los distintos tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F _o
T (Dosis)	29173.72	3.00	9724.57	50.15
B (muestras)	1000.40	3.00	333.47	1.72
Error	1745.33	9	193.93	
Total	31919.44	15		

Debido a que la Fcalculada es mayor que la Ftablas, se concluye que si hay diferencias significativas entre los tratamientos. Por lo que se procede a realizar la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, por lo que se coloca el promedio de cada uno de las repeticiones de los tratamientos forma ascendente:

Y4	0.0
Y1	7.3
Y2	71.7
Y3	101.0

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.8. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.

Comparaciones	Resta de Promedios	Promedio del Intervalo	Intervalo	Diferencia Significativa
P10TA Vs P20TA	101.0	23.74	R4	*
P10TA Vs P	93.7	23.26	R3	*
P10TA Vs PTA	29.4	22.28	R2	*
PTA Vs P20TA	71.7	23.26	R3	*
PTA Vs P	64.3	22.28	R2	*
P Vs P20TA	7.3	22.28	R2	

3.2.5 Ancho y largo de la flor

Los resultados del análisis de variancia ANOVA del ancho de las flores en los distintos tratamientos, se presentan en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Análisis de variancia del largo del tallo en los distintos tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F ₀
T (Dosis)	113.59	3.00	37.86	156.50
B (muestreos)	1.80	3.00	0.60	2.48
Error	2.18	9	0.24	
Total	117.57	15		

Debido a que la Fcalculada es mayor que la Ftablas, se concluye que si hay diferencias significativas entre los tratamientos. Por lo que se procede a realizar la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, por lo que se coloca el promedio de cada uno de las repeticiones de los tratamientos forma ascendente:

Y4	0.0
Y1	0.0
Y2	5.1
Y3	5.6

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.10. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.

Comparaciones	Resta de Promedios	Promedio del Intervalo	Intervalo	Diferencia Significativa
P10TA Vs P20TA	5.6	0.84	R4	*
P10TA Vs P	5.6	0.82	R3	*
P10TA Vs PTA	0.5	0.78	R2	
PTA Vs P20TA	5.1	0.82	R3	*
PTA Vs P	5.1	0.78	R2	*
P Vs P20TA	0.0	0.78	R2	

En cuanto a las mediciones del largo del pedúnculo, también se obtuvo el análisis de variancia correspondiente que se presenta en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Análisis de variancia del largo del pedúnculo en los distintos tratamientos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F ₀
T (Dosis)	213.71	3.00	71.24	15.50
B (muestreos)	12.83	3.00	4.28	0.93
Error	41.36	9	4.60	
Total	267.89	15		

Debido a que la F calculada es mayor que la F tablas, se concluye que si hay diferencias significativas entre los tratamientos. Por lo que se procede a realizar la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, por lo que se coloca el promedio de cada uno de las repeticiones de los tratamientos forma ascendente:

Y4 0.0
 Y1 0.0
 Y2 5.1
 Y3 5.6

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.12. Comparaciones múltiples por medio de los intervalos significativos de Duncan.

Comparaciones	Resta de Promedios	Promedio del Intervalo	Intervalo	Diferencia Significativa
P10TA Vs P20TA	5.6	3.66	R4	*
P10TA Vs P	5.6	3.58	R3	*
P10TA Vs PTA	0.5	3.43	R2	
PTA Vs P20TA	5.1	3.58	R3	*
PTA Vs P	5.1	3.43	R2	*
P Vs P20TA	0.0	3.43	R2	

3.3 Edafológicos

3.3.1 Porcentaje de materia orgánica

Con el objetivo de evaluar estadísticamente las diferencias entre los tratamientos de invernadero, sobre la materia orgánica del tepetate, con la combinación de los factores estudiados que fueron:

Factor A: Tasas agronómicas de aplicación (0TA, TA, 10TA y 20TA)

Factor B: Especie vegetal (con planta y sin planta)

Se decidió utilizar un diseño estadístico bifactorial, con las dos combinaciones de los tratamientos (Montgomery, 1991). Por lo cual existen tres hipótesis a plantearse y a responder:

Hipótesis del factor A

H0: que todas las tasas agronómicas producen el mismo efecto.

H1: que al menos una tasa agronómica es diferente

Hipótesis del factor B

H0: los tratamientos sin planta son iguales a los tratamientos con planta

H1: que los tratamientos con y sin planta son diferentes entre si.

Hipótesis de la interacción de los factores AB

H0: que no existe interacción entre los factores AB

H1: que existe una interacción entre los factores AB

Para comprobar lo anterior, se realizó un análisis de variancia bifactorial, en ambos sentidos (Montgomery, 1996). La Tabla 3.13. contiene los datos de materia orgánica obtenidos con las

TESIS CON
FALLA DE OXIGEN

distintas tasas agronómicas de aplicación, con estos datos se obtuvo el ANOVA (Tabla 3.14), para obtener las F's calculadas y corroborar las hipótesis planteadas.

Tabla 3.13 Porcentaje de materia orgánica del tepetate en las tres repeticiones

Tratamientos	1	2	3
T	0.574	0.128	0.830
TTA	2.106	0.957	1.276
T10TA	1.850	1.978	2.106
T20TA	2.042	1.787	2.552
P	0.702	0.893	0.383
PTA	1.850	1.468	1.149
P10TA	2.489	2.297	2.361
P20TA	3.190	2.744	2.808

Tabla 3.14. Análisis de variancia para el diseño bifactorial de materia orgánica.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F0
A (tasa agronómica)	13.38	3	4.46	38.46
B (especie vegetal)	0.69	1	0.69	5.95
AB	0.51	3	0.17	1.47
Error	1.86	16	0.12	
Total	16.43	23		

La F que corresponde a el factor A = $F_{0.05, 3, 16} = 3.24$ es mucho menor que la F calculada = 38.46, por lo que se rechaza la H_0 y se dice que el efecto de la aplicación de las distintas tasas agronómicas de biosólido fue significativa en el porcentaje de materia orgánica del tepetate. Ahora bien, en cuanto la F del factor B = $F_{0.05, 1, 16} = 4.49$, es ligeramente mayor que la calculada de 5.95, por lo que se dice que sí existe efecto de la existencia de la planta sobre la materia orgánica del tepetate, pero éste no es tan alto como el obtenido por la tasa agronómica de aplicación. Lo anterior sucede debido al aporte orgánico del Cempasúchil al tepetate, bien sea por los exudados radicales o por el material vegetal muerto (hojas y raicillas).

Una vez que se comprueban las diferencias significativas de cada uno de los factores, como auxiliar en la interpretación de de los resultados del experimento, resulta útil la construcción de una gráfica de las respuestas promedio de cada combinación de tratamiento. En la Figura 3.1; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra que las líneas del factor B con las del factor A son prácticamente paralelas, lo que demuestra que no existe Inter. acción entre los dos factores (tasa agronómica + especie vegetal) sobre el contenido de materia orgánica del tepetate.

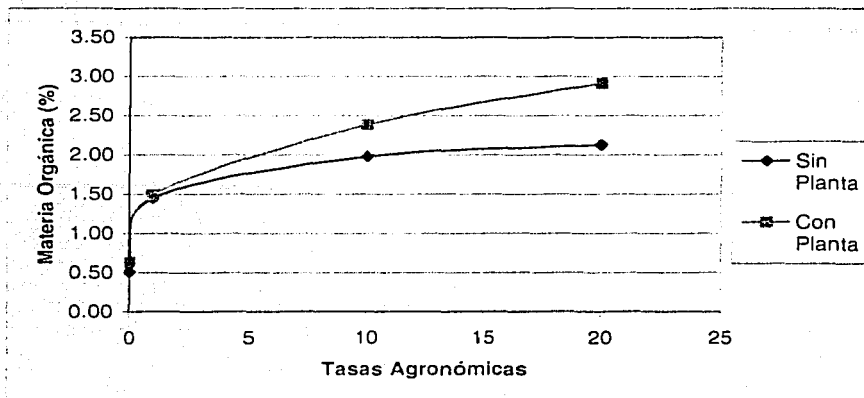


Figura 3.1 Tasas agronómicas Vs la materia orgánica del tepetate

Los datos de las comparaciones se resumen en la Tabla 3.15, se observa, que existen diferencias significativas entre todas las tasas de aplicación, lo cual es lógico debido al alto contenido de materia orgánica de los biosólidos y a los intervalos tan diferentes entre las dosis.

Tabla 3.15. Comparaciones múltiples de Duncan.

Comparaciones	Resta de Promedios	Promedio del Intervalo	Intervalo	Diferencia significativa
20TA Vs 0TA	2.28	0.367	R4	*
20TA Vs TA	1.43	0.358	R3	*
20TA Vs 10TA	0.53	0.341	R2	*
10TA Vs 0TA	1.75	0.358	R3	*
10TA Vs TA	0.89	0.341	R2	*
TA Vs 0TA	0.86	0.341	R2	*

El mismo procedimiento que se hizo para los resultados de materia orgánica se efectuó para las demás características edafológicas (pH, CICT, NTK, N-NH₃ y N-Org). Por lo que a continuación sólo se presentan las tablas y las gráficas obtenidas en cada uno de los análisis estadísticos.

3.3.2 pH

La Tabla 3.16 contiene los datos de pH obtenidos con las distintas tasas agronómicas de aplicación, con estos datos se obtuvo el ANOVA (Tabla 3.17), para obtener las F's calculadas para corroborar las hipótesis planteadas.

Tabla 3.16 Valores de pH en agua del tepetate en las tres repeticiones

Tratamientos	1	2	3
T	6.65	6.46	6.52
TTA	6.07	6.16	6.08
T10TA	5.98	6.14	6.05
T20TA	7.1	7.17	7.22
P	6.46	6.47	6.48
PTA	6.42	6.35	6.24
P10TA	5.7	6.1	5.85
P20TA	7.23	7.28	7.21

Tabla 3.17. Análisis de variancia para el diseño bifactorial del pH.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F0
A (tasa agronómica)	5.09	3	1.70	187.65
B (especie vegetal)	0.00	1	0.00	0.17
AB	0.14	3	0.05	5.23
Error	0.14	16	0.01	
Total	5.38	23		

La F que corresponde a el factor A = $F_{0.05, 3, 16} = 3.24$ es mucho menor que la F calculada = 187.65, por lo que se rechaza la H_0 y se dice que el efecto de la aplicación de las distintas tasas agronómicas de biosólido fue significativa en el porcentaje de materia orgánica del tepetate. Ahora bien, en cuanto la F del factor B = $F_{0.05, 1, 16} = 4.49$, es mayor que la calculada de 0.17, por lo que se dice que no existe efecto por la existencia de la planta sobre el pH del tepetate.

La Figura 3.2, muestra que las líneas del factor B con las del factor A se cruzan solamente en tres puntos, lo que demuestra que sólo en ellos, existe una ligera interacción causada por dos factores de planta + tasa agronómica sobre el valor de pH del tepetate.

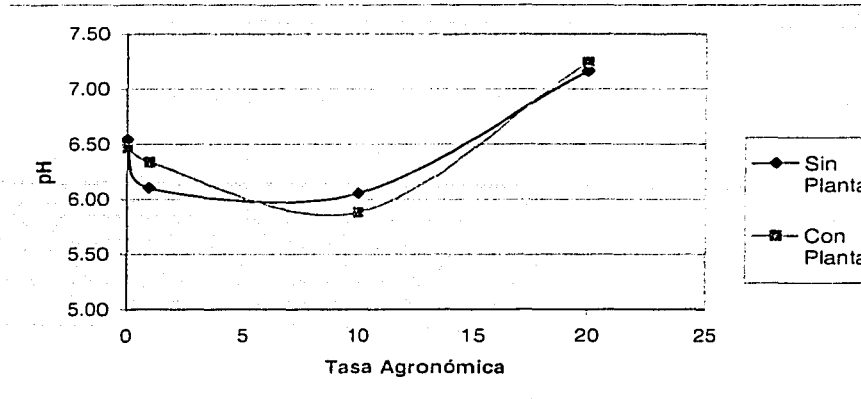


Figura 3.2. Tasas agronómicas Vs el pH del tepetate.

Una vez que se comprobó que existe diferencias significativas mínimo en alguno de los factores, se procede a realizar una prueba de comparaciones múltiples de Duncan, de la misma forma en la que se realizó con el análisis microbiológico. Los datos de las comparaciones se resumen en la Tabla 3.18, se observa, que existen diferencias significativas entre todas las tasas de aplicación, lo cual es lógico debido que la cantidad del biosólido aplicado, se encuentra relacionada con el pH del medio.

Tabla 3.18. Comparaciones múltiples de Duncan

Comparaciones	Resta de Promedios	Promedio del Intervalo	Intervalo	Diferencia significativa
20TA Vs 10TA	1.36	0.102	R4	*
20TA Vs TA	0.90	0.100	R3	*
20TA Vs 0TA	0.77	0.095	R2	*
0TA Vs 10TA	0.59	0.100	R3	*

OTA Vs TA	0.13	0.095	R2	*
TA Vs 10TA	0.46	0.095	R2	*

3.3.3 Capacidad de Intercambio Catiónico Total

La Tabla 3.19 contiene los datos de CICT obtenidos con las distintas tasas agronómicas de aplicación, con estos datos se obtuvo el ANOVA (Tabla 3.20), para obtener las F's calculadas para corroborar las hipótesis planteadas.

Tabla 3.19 Contenido de CICT del tepetate en las tres repeticiones

Tratamientos	1	2	3
T	26.00	24.00	20.50
TTA	23.50	27.00	15.00
T10TA	30.50	26.00	24.50
T20TA	37.50	48.00	41.50
P	32.50	38.50	20.00
PTA	28.50	31.50	35.00
P10TA	32.50	32.50	22.50
P20TA	45.00	43.00	30.00

Tabla 3.20. Análisis de variancia para el diseño bifactorial de la CICT.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F0
A (tasa agronómica)	808.78	3	269.59	10.55
B (especie vegetal)	110.51	1	110.51	4.32
AB	155.11	3	51.70	2.02
Error	409.00	16	25.56	
Total	1483.41	23		

La F que corresponde a el factor A = $F_{0.05, 3, 16} = 3.24$ es mucho menor que la F calculada = 10.55, por lo que se rechaza la H_0 y se dice que el efecto de la aplicación de las distintas tasas agronómicas de biosólido fue significativa en el porcentaje de materia orgánica del tepetate. Ahora bien, en cuanto la F del factor B = $F_{0.05, 1, 16} = 4.49$, es ligeramente mayor que la calculada de 4.32, por lo que se dice que no existe efecto por la existencia de la planta sobre la CICT del tepetate.

La Figura 3.3, muestra que las líneas del factor B con las del factor A se cruzan solamente en tres puntos, lo que demuestra que sólo en ellos, existe una ligera interacción causada por dos factores de planta + tasa agronómica sobre la CICT del tepetate.

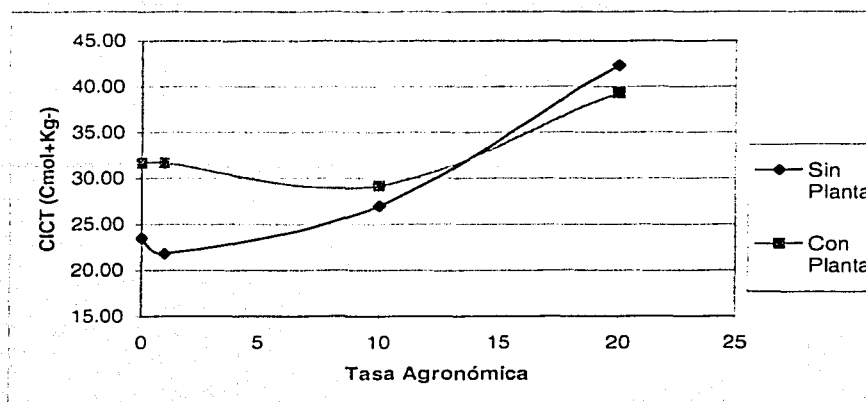


Figura 3.3. Tasas agronómicas Vs la CICT del tepetate.

Los datos de las comparaciones se resumen en la Tabla 3.21, se observa, que sólo existen diferencias significativas al aplicar la tasa más alta de 20TA contra todas las demás tasas en cuanto a la CICT del medio.

Tabla 3.21. Comparaciones múltiples de Duncan

Comparaciones	Resta de Promedios	Promedio del Intervalo	Intervalo	Diferencia significativa
20TA Vs 10TA	10.16	5.444	R4	*
20TA Vs TA	7.66	5.309	R3	*
20TA Vs 0TA	7.66	5.056	R2	*
TA Vs 10TA	2.50	5.309	R3	
TA Vs 0TA	0.00	5.056	R2	
0TA Vs 10TA	2.50	5.056	R2	

3.3.4 Nitrógeno total Khijeldal

La Tabla 3.22 contiene los datos de NTK obtenidos con las distintas tasas agronómicas de aplicación, con estos datos se obtuvo el ANOVA (Tabla 3.23), para obtener las F's calculadas para corroborar las hipótesis planteadas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.22 Contenido de nitrógeno total khijeldal del tepetate en las tres repeticiones

Tratamientos	1	2	3
T	87.07	53.36	80.67
TTA	175.51	154.89	133.66
T10TA	1339.64	803.55	944.93
T20TA	1528.97	1969.1	1446.39
P	56.67	106.72	80.51
PTA	143.37	176.19	240.59
P10TA	354.27	322.06	617.27
P20TA	2109.22	760.48	1086.4

Tabla 3.23. Análisis de variancia para el diseño bifactorial del NTK.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F0
A (tasa agronómica)	7522573.40	3	2507524.47	29.44
B (especie vegetal)	295701.78	1	295701.78	3.47
AB	405449.99	3	135150.00	1.59
Error	1362921.01	16	85182.56	
Total	9586646.19	23		

La F que corresponde a el factor A = $F_{0.05, 3, 16} = 3.24$ es mucho menor que la F calculada = 29.44, por lo que se rechaza la H_0 y se dice que el efecto de la aplicación de las distintas tasas agronómicas de biosólido fue significativa en el porcentaje de materia orgánica del tepetate. Ahora bien, en cuanto la F del factor B = $F_{0.05, 1, 16} = 4.49$, es mayor que la calculada de 3.47, por lo que se dice que no existe efecto por la existencia de la planta sobre el NTK del tepetate.

La Figura 3.4, muestra que las líneas del factor B con las del factor A se cruzan solamente en dos puntos, lo que demuestra que sólo en ellos, existe una ligera interacción causada por dos factores Cempasúchil + tasa agronómica sobre el NTK del tepetate.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

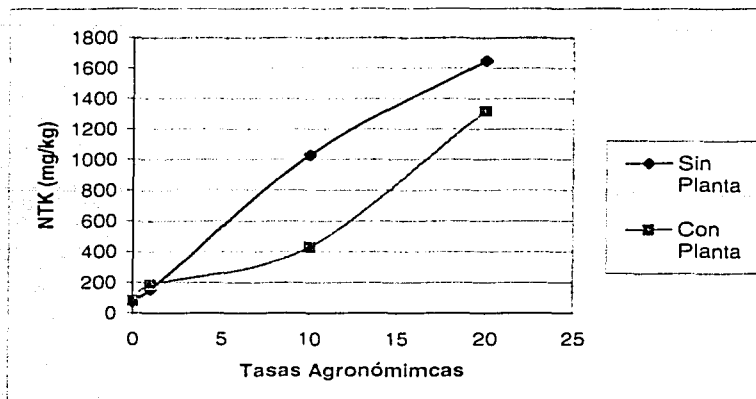


Figura 3.4. Tasas agronómicas Vs el NTK del tepalate.

3.3.5 Nitrógeno Amoniacal

La Tabla 3.24 contiene los datos de nitrógeno amoniacal obtenidos con las distintas tasas agronómicas de aplicación, con estos datos se obtuvo el ANOVA (Tabla 3.25), para obtener las F's calculadas para corroborar las hipótesis planteadas.

Tabla 3.24 Contenido de nitrógeno amoniacal del tepalate en las tres repeticiones

Tratamientos	1	2	3
T	14	14.28	14.25
TTA	14.21	14.27	14.27
T10TA	42.33	71.39	57.08
T20TA	340.34	327.96	271.28
P	14.25	28.53	14.28
PTA	14.21	28.54	28.36
P10TA	14.23	28.54	42.81
P20TA	768.05	685.09	490.51

Tabla 3.25. Análisis de variancia para el diseño bifactorial del nitrógeno amoniacal.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F0
A (tasa agronómica)	931812.56	3	310604.19	111.92
B (especie vegetal)	38539.33	1	38539.33	13.89
AB	130866.41	3	43622.14	15.72
Error	44404.05	16	2775.25	
Total	1145622.35	23		

La F que corresponde a el factor A = $F_{0.05, 3, 16} = 3.24$ es mucho menor que la F calculada = 111.9, por lo que se rechaza la H_0 y se dice que el efecto de la aplicación de las distintas tasas agronómicas de biosólido fue significativa en el porcentaje de materia orgánica del tepetate. Ahora bien, en cuanto la F del factor B = $F_{0.05, 1, 16} = 4.49$, es menor que la calculada de 13.89, por lo que se dice que si existe efecto de por la existencia de la planta sobre el nitrógeno amoniacal del tepetate.

La Figura 3.5, muestra que las líneas del factor B con las del factor A se cruzan solamente en dos puntos, lo que demuestra que sólo en ellos, existe una ligera interacción causada por dos factores de planta + tasa agronómica sobre el nitrógeno amoniacal del tepetate.

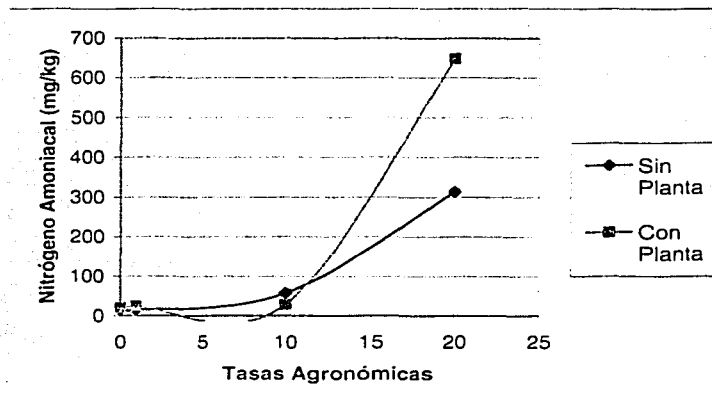


Figura 3.5. Tasas agronómicas Vs el contenido de nitrógeno amoniacal del tepetate.

Los datos de las comparaciones se resumen en la Tabla 3.26, se observa, que sólo existen diferencias significativas al aplicar la tasa más alta de 20TA contra todas las demás tasas en cuanto al nitrógeno amoniacal del medio.

Tabla 3.26. Comparaciones múltiples de Duncan

Comparaciones	Resta de Promedios	Promedio del Intervalo	Intervalo	Diferencia significativa
20TA Vs 0TA	628.86	56.720	R4	*
20TA Vs TA	624.18	55.315	R3	*
20TA Vs 10TA	619.36	52.681	R2	*
10TA Vs 0TA	9.51	55.315	R3	
10TA Vs TA	4.82	52.681	R2	
TA Vs 0TA	4.68	52.681	R2	

3.3.6 Nitrógeno Orgánico

La Tabla 3.27 contiene los datos de nitrógeno amoniacal obtenidos con las distintas tasas agronómicas de aplicación, con estos datos se obtuvo el ANOVA (Tabla 3.28), para obtener las F's calculadas para corroborar las hipótesis planteadas.

Tabla 3.27 Contenido de nitrógeno amoniacal del tepetate en las tres repeticiones

Tratamientos	1	2	3
T	73.07	39.08	66.42
TTA	161.3	140.62	119.39
T10TA	1297.31	732.16	887.85
T20TA	1188.63	1641.14	1175.11
P	42.42	78.19	66.23
PTA	129.16	147.65	212.23
P10TA	340.04	293.52	574.46
P20TA	1341.17	75.39	586.89

Tabla 3.28 Análisis de variancia para el diseño bifactorial del nitrógeno amoniacal.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F0
A (tasa agronómica)	3589491.31	3	1196497.10	16.31
B (especie vegetal)	550469.26	1	550469.26	7.51
AB	604878.12	3	201626.04	2.75
Error	1173407.17	16	73337.95	
Total	5918245.86	23		

La F que corresponde a el factor $A = F_{0.05, 3, 16} = 3.24$ es mucho menor que la F calculada = 16.31, por lo que se rechaza la H_0 y se dice que el efecto de la aplicación de las distintas tasas agronómicas de biosólido fue significativa en el contenido de nitrógeno orgánico del tepetate. Ahora bien, en cuanto la F del factor $B = F_{0.05, 1, 16} = 4.49$, es menor que la calculada de 7.51, por lo que se dice que si existe efecto por la existencia de la planta sobre el nitrógeno orgánico del tepetate.

La Figura 3.6, muestra que las líneas del factor B con las del factor A se cruzan solamente en dos puntos, lo que demuestra que sólo en ellos existe una ligera interacción causada por dos factores de planta + tasa agronómica sobre el nitrógeno amoniacal del tepetate.

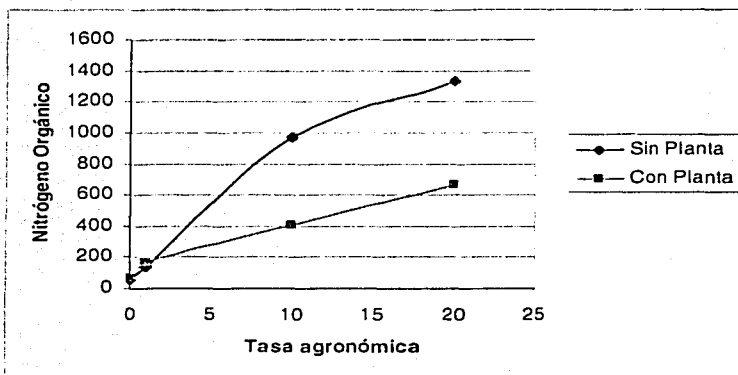


Figura 3.6. Tasas agronómicas Vs el nitrógeno orgánico del tepetate.

Los datos de las comparaciones se resumen en la Tabla 3.29, se observa, que sólo existen diferencias significativas con el tratamiento testigo y la tasa de 10TA y con la más alta de 20TA así como ésta última con la de una TA.

Tabla 3.29 Comparaciones de medias múltiples de Duncan.

Comparaciones	Resta de Promedios	Promedio del Intervalo	Intervalo	Diferencia significativa
20TA Vs 0TA	605.54	291.572	R4	*
20TA Vs TA	504.80	284.350	R3	*
20TA Vs 10TA	265.14	270.810	R2	
10TA Vs 0TA	340.39	284.350	R3	*
10TA Vs TA	239.66	270.810	R2	
TA Vs 0TA	100.73	270.810	R2	

4 Anexo Cuatro Técnicas Analíticas.

4.1 Coliformes fecales

Este método de análisis se basa en que:

Las bacterias presentes en una muestra pueden ser separadas por agitación, dando por resultado una suspensión de células bacterianas, uniformemente distribuidas. A través de diluciones sucesivas de la muestra se obtienen inóculos de, al menos, una célula para obtener crecimiento en el medio de cultivo (tubos positivos), y otros que al sembrarse dan resultado en, por lo menos, un tubo de la serie. La combinación de resultados positivos y negativos permite realizar una estimación de la densidad bacteriana por medio de cálculos de probabilidad. La técnica seleccionada permite el estudio de un volumen de muestra suficiente para obtener resultados significativos, considerando la alta turbidez que la muestra pudiera presentar a causa de la gran cantidad de material acumulado. En caso de aplicar técnicas como filtro de membrana se correría el riesgo de un cálculo de coliformes fecales inferior al real.

Equipo y materiales

Sólo se mencionan los equipos y materiales que son de relevancia para el presente método.

Equipo.

Autoclave a una presión de 1.05 kg/cm² y una temperatura de 121 °C.
Balanza analítica con intervalo de medición de 0.0001 a 80 g ± 0.0001 g.
Balanza granataria con intervalo de medición de 0.1 g a 1500 g ± 0.1 g.
Baño de agua (con agitación) con capacidad para operar a una temperatura de 44.5 °C ± 0.2 °C.
Estufa de esterilización con capacidad para medir temperatura de 170 ± 10 °C.
Incubadora con capacidad para operar a una temperatura de 37 °C ± 0.2 °C.
Parrilla con agitación y calentamiento.
Potenciómetro con intervalo de medición de 0 a 14 ± 0.2 °C.
Refrigerador con capacidad para operar a una temperatura entre 2 y 4 °C ± 0.2 °C.

Materiales.

Asa de inoculación.
Barras magnéticas.
Bulbo de goma.
Espátula.
Frascos de 500 mL con tapa de cierre hermético, boca ancha y susceptibles de ser esterilizados en autoclave.
Gradillas y canastillas de acero inoxidable.
Guantes de látex.
Mechero de Bunsen, lámpara de alcohol o similar.

Pipetas graduadas de vidrio de 1, 5 y 10 mL.

Portapipeteros de acero inoxidable.

Tapabocas.

Tapones de acero inoxidable para tubos de ensayo (18 mm x 180 mm, 16 mm x 150 mm o de 12 mm x 120 mm).

Tubos de Durham (7mm x 4.5 mm o de 5 mm x 4 mm).

Tubos de ensayo (18 mm x 180 mm, 16 mm x 150 mm ó 12 mm x 120 mm).

Tubos de rosca (13 x 100 mm).

Reactivos

3.1 Agua destilada.

Alcohol etílico.

Caldo lauril-triptosa con púrpura de bromocresol (C.L.T.) o

Caldo lactosado con púrpura de bromocresol (C.L.).

Cloruro de magnesio.

Fosfato monopotásico.

Hidróxido de sodio.

Medio EC.

Recolección, preparación y acondicionamiento de muestras

El muestreo constituye una parte integral y fundamental de cualquier programa de evaluación de calidad de lodo, por lo cual, éste deberá efectuarse de acuerdo a las normativas vigentes.

- .La muestra deberá ser tomada en frascos de 500 mL de capacidad, de boca ancha y previamente esterilizados.
- Las muestras serán colocadas en hieleras con bolsas refrigerantes o hielo tan pronto como sea posible.
- Los tiempos de conservación en refrigeración y transporte deben reducirse al mínimo y nunca exceder de 48 h.
- A la muestra, antes de ser procesada, se le determinará el contenido de sólidos totales en por ciento en peso y posteriormente se obtendrá el peso en fresco que corresponda a 4 gramos de ST.

A partir de su toma y hasta antes de ser procesada, la muestra debe estar en refrigeración a una temperatura de 4 °C y no transcurrir más de 48 horas.

4.2 Huevos de Helmintos en lodos

El presente método tiene por objeto establecer la técnica para la detección, enumeración, determinación y de la viabilidad, en caso requerido, de huevos de helmintos en muestras de lodos y biosólidos, con el fin de evaluar la calidad de estos subproductos y la eficiencia de los sistemas de tratamiento a los que están sujetos.

La prueba se basa en el siguiente principio:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por medio de lavados continuos, combinados con diversas etapas de filtración y flotación se logra la separación de los huevos de helmintos del resto de las partículas de mayor y menor tamaño, así como su concentración.

Permite, en caso de ser requerido, determinar la viabilidad de los huevos de helminto y con ello confirmar la calidad de diversos procesos de estabilización en lodos.

Muestreo, preparación y acondicionamiento de la muestra

El muestreo constituye una parte integral y fundamental de cualquier programa de evaluación de calidad del lodo, por lo cual, éste deberá efectuarse de acuerdo con lo referido en el punto 5 de esta Norma.

Preparar recipientes de plástico inerte de 500 mL de boca ancha y de cierre hermético, previamente desinfectados con cloro comercial, lavados con agua potable a chorro y enjuagados con agua destilada.

A la muestra, antes de ser procesada, se le determinará el contenido de sólidos totales (ST) en por ciento en peso para, posteriormente, tomar en los recipientes el peso en fresco (X) que corresponda a 2 g de ST, para todo tipo de lodos.

Mantener la muestra a una temperatura de $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su llegada al laboratorio.

A partir de su toma y hasta antes de ser procesada, la muestra debe estar en refrigeración hasta su análisis.

Reactivos y materiales

Reactivos

Acetato de etilo ($\text{C}_2\text{H}_5\text{.OCOOCH}_3$) (opcional).

Acetato de sodio trihidratado ($\text{CH}_3\text{ COONa. }3\text{H}_2\text{O}$) (opcional).

Acido acético ($\text{CH}_3\text{ COOH}$) (opcional).

Acido sulfúrico 0,1 N (H_2SO_4).

Alcohol etílico ($\text{C}_2\text{ H}_5\text{ OH}$).

Agua destilada.

Eter etílico.

Hipoclorito de sodio 10% (NaClO).

Formaldehído 37% (opcional).

Sulfato de zinc heptahidratado ($\text{ZnSO}_4\text{ .7H}_2\text{ O}$).

Tween 80 al 0,1%.

Materiales

4.2.2 Barras magnéticas.

4.2.3 Bulbo de goma.

4.2.4 Embudo de plástico con diámetro de 20 cm

4.2.5 Espátula.

4.2.6 Gradillas para tubos de centrifuga 50 mL

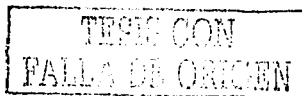
4.2.7 Guantes de látex.

4.2.8 Manguera para conexión de matraz.

4.2.9 Matraces aforados Erlenmeyer de 1 L de capacidad.

4.2.10 Matraz Kitazato de 4 L.

4.2.11 Pipetas de 10 mL de plástico.



- 4.2.12 Pizeta de plástico de 1 L.
- 4.2.13 Probetas graduadas de 10 mL, 50 mL y de 1 L.
- 4.2.14 Recipientes de cierre hermético de 1 a 3 L de capacidad.
- 4.2.15 Recipientes de plástico inerte con paredes internas lisas de 3 L de capacidad.
- 4.2.16 Recipientes de plástico inerte, boca ancha, de 500 mL de capacidad y susceptibles de ser esterilizados en autoclave.
- 4.2.17 Tamiz de 20 μm (micras) de poro (opcional).
- 4.2.18 Tamiz de 150 a 170 μm (micras) de poro.
- 4.2.19 Tapabocas.
- 4.2.20 Tubos de centrifuga cónicos, de plástico 50 y 200 mL (o de mayor capacidad).

Aparatos y/o instrumentos

Agitador de tubos con control de velocidad y adaptable a tubos de diferentes tamaños.
Autoclave capaz de operar a una presión de 1,05 kg/cm² y una temperatura de 121 °C.
Balanza granataria con intervalo de medición de 2,0 a 800 g \pm 0,2 g.
Bomba de vacío con control de velocidad de succión.
Cámara de Sedgwich-Rafter o disco Doncaster.
Campana de extracción
Centrífuga, capaz de mantener los intervalos de operación de 660 \pm 300 g.
Densímetro (hidrómetro), con intervalo de medición de 1,0 a 1,4 g/cm³
Incubadora con capacidad para operar a una temperatura de 26 °C \pm 0,2 °C.
Licuadora con contenedor de plástico inerte, paredes lisas y con capacidad de 2 L.
Mascarilla antigas con carbón activado o similar.
Microscopio óptico equipado para hacer iluminación (Köhler), campo claro, con objetivos de 10 a 100 X, y platina móvil removible.
Parrilla con agitación magnética.
Potenciómetro con intervalo de medición de 0 a 14 \pm 0,2 unidades de precisión.
Refrigerador con capacidad para operar a una temperatura de 4 °C \pm 0,2 °C.

Procedimiento

Preparación de soluciones

Los siguientes puntos describen la secuencia del método de prueba, el cual debe realizarse conforme a lo descrito, con el fin de minimizar sesgos en los datos obtenidos.

Solución ácido alcohol, homogeneizar 650 mL de ácido sulfúrico 0,1 N con 350 mL de alcohol etílico. Almacenar la solución en un recipiente hermético.

Solución de formalina al 0,5%, añadir 5 mL de formaldehído al 37% y aforar a 1 000 mL con agua destilada. Homogeneizar y almacenar en recipiente hermético.

Solución patrón de aceto-acético, agregar 15 g de acetato de sodio trihidratado, 3,6 mL de ácido acético y aforar a 1 000 mL de agua destilada. Homogeneizar y almacenar en frasco hermético durante 2 a 3 meses.

Solución de sulfato de zinc (ZnSO₄) con gravedad específica de 1,3. Disolver 800 g de sulfato de zinc heptahidratado (ZnSO₄ · 7H₂O) en 1 000 mL de agua destilada, mezclar en la parrilla magnética hasta homogeneizar totalmente. Medir la densidad con el densímetro y, según sea el caso, ajustar la densidad a 1,3 agregando sulfato de zinc o agua destilada, según se requiera. Almacenar en recipiente hermético y verificar densidad cada mes.

Tween 80 al 0,1%, añadir 1 mL del reactivo en 999 mL de agua destilada y homogeneizar en parrilla de agitación hasta su completa disolución. Almacenar en recipiente hermético durante 2 a 3 meses.

Calibración de aparatos

Todos los equipos deben ser calibrados o ajustados de acuerdo con las especificaciones del fabricante, o bien, contra equipos certificados.

Seguridad

Durante el procesado de la muestra se debe utilizar guantes de látex y cubre boca, para evitar cualquier riesgo de infección.

Se debe lavar y desinfectar el área de trabajo, así como el material utilizado por el analista, antes y después del ensayo.

La agitación de las soluciones con éter deberá realizarse en sitios ventilados o dentro de una campana de extracción, considerando su inflamabilidad. Evitar la inhalación, el contacto con los ojos, piel o ropa, ya que es un reactivo sumamente tóxico.

Manejo de residuos

Todos los residuos de la muestra analizada serán esterilizados en autoclave antes de su desecho. Aquel material que sea reutilizado, pero que no pueda ser esterilizado en autoclave deberá ser colocado en hipoclorito de sodio (10%), durante un día, antes de ser lavado.

Concentración y separación de los huevos de helminto.

La recuperación de los huevos de helminto de la muestra se realizará efectuando los siguientes pasos:

Por 1 minuto y con la ayuda de una licuadora homogeneizar el peso en fresco que corresponda a 2 g de ST. Utilizar para ello 200 mL de una solución de Tween 80 al 0,1%, integrando los enjuagues del recipiente que originalmente contenía la muestra.

Recuperar homogeneizado y enjuagues del vaso de la licuadora en un recipiente de plástico de 2 L, utilizar para ello 800 mL de la solución de Tween 80 al 0,1%.

Dejar sedimentar la muestra al menos durante 3 horas.

Aspirar el sobrenadante por vacío y filtrar el sedimento a través del tamiz de poro seleccionado (150 a 170 μm). Enjuagar recipiente y tamiz con 1 L de agua destilada, para lo cual se recomienda utilizar una pizeta. El filtrado y los enjuagues se recuperan en el recipiente de plástico de 2 L.

Dejar sedimentar al menos durante 3 horas.

Aspirar el sobrenadante por vacío y recuperar sedimento y enjuagues, con agua destilada, en un tubo de centrifuga de 200 mL o mayor capacidad.

Centrifugar a 660 g durante 5 minutos.

Aspirar el sobrenadante por vacío y desecharlo. Resuspender la pastilla en 150 mL de la solución de sulfato de zinc. Homogeneizar la pastilla con ayuda de un agitador de tubos y, sólo en caso de ser necesario, utilizar aplicadores de plástico o espátula de teflón para lograr su completa disolución.

Centrifugar a 660 g durante 5 minutos.

En caso de contar con un tamiz de 20 μm de poro se recomienda efectuar un segundo filtrado, cuya finalidad es remover el detritus de menor tamaño y facilitar la lectura de los huevos de helminto en el sedimento final al microscopio. Para ello, filtrar el sobrenadante y recuperar la

película que ha quedado retenida sobre la malla con el volumen de agua destilada que sea necesario (utilizar pizeta), en un tubo de 200 mL de centrífuga, desechar filtrado y pasar al inciso i. En caso contrario verter el sobrenadante en un recipiente de 2 L y romper la densidad con 1 L de agua destilada.

Sedimentar al menos durante 3 horas.

Una vez transcurrido el tiempo de sedimentación aspirar el sobrenadante por vacío y recuperar el sedimento resultante en un tubo de centrífuga de 200 mL o mayor capacidad, incluir los enjuagues del recipiente.

Centrifugar a 660 g durante 5 minutos.

Aspirar el sobrenadante por vacío y resuspender el sedimento por agitación, con ayuda de un agitador de tubos (si es necesario, utilizar aplicadores). La solución resultante se recupera en un tubo cónico de centrífuga de 50 mL, incluyendo el agua destilada de enjuague.

Centrifugar a 660 g durante 5 minutos.

Aspirar el sobrenadante y con ayuda de un agitador de tubos resuspender la pastilla en 15 mL de la solución de alcohol-ácido (u opcionalmente, el patrón de aceto-acético) y, posteriormente, agregar 10 mL de éter (o acetato de etilo, que es menos tóxico). Agitar suavemente y, de vez en cuando, destapar para dejar escapar el gas que se desprenda. Por seguridad, realizar todo este proceso dentro de la campana de extracción (en el laboratorio) o con mascarilla de protección antigás (en campo).

Centrifugar a 660 g durante 5 minutos.

Aspirar el sobrenadante, hasta 2 mm por arriba de la parte cónica del tubo de 50 mL (aproximadamente 5 mL). Realizarlo bajo las mismas condiciones de seguridad (en el laboratorio) dentro de la campana de extracción o (en campo) con mascarilla de protección antigás.

Efectuar un primer enjuague agregando H_2SO_4 0,1 N (o formalina 0,5%).

Centrifugar a 660 g durante 5 minutos.

Aspirar el sobrenadante, dejando 5 mL y realizar un segundo enjuague agregando H_2SO_4 0,1 N (o formalina 0,5%).

Centrifugar a 660 g durante 5 minutos.

Aspirar el sobrenadante dejando 5 mL del mismo.

Determinación de viabilidad y lectura al microscopio

Si no es necesario determinar la viabilidad, proceder a la cuantificación, en caso contrario, incubar el tubo con la muestra durante 4 semanas a $26\text{ }^\circ\text{C} \pm 0,2\text{ }^\circ\text{C}$. Dejar la tapa del tubo floja para que entre aire y, por lo menos una vez por semana, verificar que el nivel del líquido no disminuya. Si es necesario, agregar agua destilada.

Una vez transcurrido el tiempo de incubación, homogenizar la pastilla y proceder a la cuantificación de los huevos. Para la lectura verter el sedimento final en una celda de Sedgwich Rafter o Disco Doncaster. En caso necesario, y para evitar la sobreposición de estructuras y del detritus no eliminado, distribuir en alícuotas y homogeneizar con agua destilada. Sólo aquellos huevos donde se observe la larva se consideran viables. El Anexo 1 muestra algunos ejemplos.

Como paso opcional, y antes de realizar la lectura al microscopio, añadir hipoclorito de sodio (10%) en igual volumen al sedimento final y dejar reposar durante 10 minutos. Aforar con agua destilada.

Centrifugar a 660 g durante 5 minutos y decantar hasta dejar 5 mL del sobrenadante.

Realizar un segundo enjuague con agua destilada y centrifugar bajo las mismas condiciones. Lo anterior permite una mayor claridad en el contenido interno de los huevos (especialmente de *Ascaris* y *Trichuris*), una mejor diferenciación y en consecuencia un conteo más rápido. Aspirar sobrenadante hasta 5 mL del volumen final.

Cálculos

La fórmula para calcular g es:

$$g = \frac{r (\text{rpm})^2}{k}$$

donde:

g = fuerza relativa de centrifugación

k = constante cuyo valor es 89, 456

r = radio de la centrifuga en cm

rpm = revoluciones por minuto

Para el cálculo del por ciento de sólidos totales (ST), se utiliza el % de humedad como sigue:

$$\% \text{ de sólidos totales} = 100\% - \% \text{ de humedad} \quad (2)$$

Expresión de resultados

$$\% \text{ de sólidos totales} = 100\% - \% \text{ de humedad}$$

Expresar los resultados en número de huevos/ 2 g de sólidos totales (volumen de muestra analizada).

$$H/2g \text{ ST} \quad (3)$$

donde:

H= número de huevos leídos en la muestra

gST= gramos de sólidos totales de la muestra analizados

Interferencias

La sobreposición de estructuras y/o detritus no eliminados en el sedimento puede dar una evaluación errónea al dificultar la lectura. En tal caso, es importante diluir con agua destilada y hacer las alícuotas que se consideren necesarias para que en cada una se realice el conteo.

La falta de experiencia en la identificación de géneros es un elemento común de sobreconteo.

En caso de que la muestra presente la formación de hongos durante el proceso de incubación se recomienda reemplazar el H₂SO₄ 0,1 N por una solución de formalina 0,5%.

Informe de la prueba

Incluye especificar los siguiente puntos:

Todos los datos necesarios para la identificación completa de la muestra.

Los resultados, expresados de acuerdo con lo establecido en el inciso 8.

Cualquier suceso particular observado durante el curso del análisis, así como cualquier operación no especificada en el método, o considerada opcional, que pueda haber influido en los resultados.

4.3 Metales pesados

El presente método tiene por objeto establecer la técnica para la determinación de arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, níquel y zinc, en muestras de lodos y biosólidos, por espectrofotometría de absorción atómica, donde el análisis de los elementos se efectúa individualmente.

Principio

El método analítico se basa en la atomización de la muestra para liberar los átomos, a los que se les aplica una energía de una longitud de onda específica que es absorbida e induce al electrón a pasar a un estado excitado. Esta energía absorbida es proporcional a la concentración del elemento en la muestra analizada.

Reactivos y materiales

Ácido clorhídrico grado suprapur.

Ácido nítrico grado suprapur.

Ácido nítrico.

Ácido perclórico grado suprapur.

Ácido sulfúrico grado suprapur.

Acetona.

Agua tipo II, que tiene las siguientes características: resistividad mayor de 10 megohm-cm a 25 °C y conductividad menor de 0,1 μ S/cm a 25 °C. En lo subsiguiente se le llamará agua.

Aire comprimido seco y limpio.

Borohidruro de sodio.

Cadmio metálico.

Cloruro de mercurio.

Cloruro de potasio.

Cloruro o sulfato estano.

Cobre metálico.

Detergente no iónico, libre de metales.

Gases: acetileno, nitrógeno, grado absorción atómica.

Hexano.

Hidróxido de sodio.

Níquel metálico.

Nitrato de plomo.

Oxido de lantano.

Permanganato de potasio

Soluciones estándar de referencia certificadas de arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo, níquel, mercurio y zinc, de 100 ppm.

Trióxido de arsénico.

Trióxido de cromo.

Zinc metálico.

Materiales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

XXX

Crisoles de platino de 40 a 50 mL de capacidad.

Cápsula de porcelana de 50 mL de capacidad.

Embudos de filtración de diferentes capacidades.

Góteros.

Matraces Erlenmeyer de diferentes capacidades.

Matraces volumétricos de diferentes capacidades.

Membranas de ruptura.

Micropipetas o pipetas Eppendorf de diferentes capacidades.

Papel filtro Whatman No. 40.

Pipetas volumétricas de varias capacidades

Puntas de plástico para micropipetas

Recipientes de polietileno, propileno o de vidrio de 50 mL

Vasos de precipitado de diferentes capacidades

Vaso de teflón de 100 mL.

Vidrio de reloj.

Todo el material volumétrico utilizado por este método debe ser clase A y ser de uso exclusivo para este procedimiento.

Equipo

Sólo se mencionan los equipos que son de relevancia para el presente método

Balanza analítica con intervalo de medición de 0,0001 a 80 g \pm 0,0001 g.

Para la gestión de las muestras:

Parrilla de calentamiento con regulador.

Horno de microondas, capaz de liberar de 575 W a 1 000 W de potencia. El incremento de la potencia debe ser mínimo 1 %/s sistema de control de presión dentro de cada uno de los vasos y sistema de ventilación de 2,8 m³/minuto.

Horno con intervalo de temperatura de 0 – 160°C

Autoclave con válvula de seguridad que se abra a 15 lb y un manómetro para indicar la presión interna.

Espectrofotómetro de absorción atómica, con lo siguiente:

Sistema óptico. Fotómetro de haz sencillo o doble.

Monocromador con rango espectral de 190 a 900 nm.

Ancho de banda espectral de 0,2, 0,7 y 2,0 nm.

Sistema de flama con control de gases.

Sistema de generador de hidruros.

Sistema de quemador con alineación de la flama manual o automática, y quemador de 10 cm.

Lámparas de cátodo hueco o de descarga sin electrodo, de acuerdo a los metales a analizar.

Interfase con registrador o un adecuado sistema automatizado para el procesamiento de datos.

Recolección, preservación y almacenamiento de muestras

Recolección.

La muestra debe tomarse en recipientes de polietileno o de vidrio y boca ancha de 50 mL y llenando hasta el tope.

Preservación y almacenamiento de la muestra.

La muestra debe refrigerarse inmediatamente a 4 °C por un tiempo máximo de 6 meses, excepto para el caso del mercurio que se requiere analizar antes de 28 días.

Procedimiento

Los siguientes puntos describen la secuencia del método de prueba, el que se debe realizar conforme a lo descrito.

Preparación de disoluciones.

Ácido nítrico al 10% v/v. Diluir 16 mL de HNO₃ RA, en 100 mL de agua.

Ácido clorhídrico al 15% v/v. Diluir 40 mL de HCl RA, en 100 mL de agua.

Ácido clorhídrico 1:1. Diluir 50 mL de HCl RA con 50 mL de agua.

Ácido clorhídrico al 1,5% v/v. Diluir 3,4 mL de HCl en 100 mL de agua.

Solución de borohidruro de sodio. Pesar 4 g de borohidruro de sodio en 100 mL de una solución de hidróxido de sodio al 1% p/v. Filtrar al vacío.

Solución de hidróxido de sodio al 1% p/v. Pesar 1 g de hidróxido de sodio y diluir a 100 mL con agua.

Solución de permanganato de potasio. Pesar 5 g de permanganato de potasio y diluirlo a 100 mL. Considerar el porcentaje de pureza.

Agua regia. Añadir tres volúmenes de HCl RA a un volumen de HNO₃ RA.

Soluciones para realizar la curva de calibración. A partir de la solución que se indica anteriormente, se deben realizar las diluciones necesarias con un pH = 2. Preparar mínimo cinco concentraciones, las que deben estar en el intervalo de trabajo del laboratorio.

Soluciones para verificar el 0,2 unidades de absorbancia. A partir de la solución que se indica en el punto 3.1.2.3, realizar las diluciones necesarias con un pH = 2, hasta obtener 2 ppm.

También se pueden preparar estas soluciones en el laboratorio, como se indica a continuación, siempre y cuando se verifique su concentración con una solución estándar de referencia.

Arsénico: Disolver 1,320 g de trióxido de arsénico, As₂O₃ en agua conteniendo 4 g de NaOH. Diluir a 1 000 mL con agua. 1,00 mL = 1.00 mg As (III).

Cadmio: Disolver 0,10 g de cadmio metálico en 4 mL de HNO₃, adicionar otros ocho mL de HNO₃ y diluir a 1 000 mL con agua. 1,00 mL = 100 µg de Cd.

Cobre: Disolver 0,10 g de cobre metálico en dos mL de HNO₃, adicionar 10 mL de HNO₃ y diluir a 1 000 mL con agua. 1,00 mL = 100 µg Cu.

Cromo: Disolver 0,1923 g de CrO₃ en agua. Cuando la disolución sea completa, acidificar con 10 mL de HNO₃, y diluir a 1 000 mL con agua. 1,00 mL = 100 µg Cr.

Mercurio: Disolver 0,1354 g de cloruro de mercurio, HgCl_2 , en aproximadamente 70 mL de agua, añadir un mL de HNO_3 y diluir a 100 mL con agua. 1,00 mL = 1,00 mg Hg.

Níquel: Disolver 0,10 g de níquel metálico en 10 mL de HNO_3 caliente, enfriar y diluir a 1 000 mL con agua. 1,00 mL = 100 μg Ni.

Plomo: Disolver 0,1598 g de nitrato de plomo, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, en una mínima cantidad de HNO_3 1:1, adicionar 10 mL de HNO_3 y diluir a 1 000 mL con agua. 1,00 mL = 100 μg Pb.

Zinc: Disolver 0,100 g de Zinc metálico en 20 mL de HCl 1:1 y diluir a 1 000 mL en agua. 1,00 mL = 100 μg Zn.

El ácido nítrico utilizado para la preparación de estas soluciones es grado suprapuro.

Limpieza del material.

El material de vidrio debe sumergirse durante una hora en una disolución de ácido nítrico al 10 % (ver 6.1.1) y enjuagarse con agua.

En caso de que el material presente adherencias, debe dejarse remojando de 12 a 24 h con ácido nítrico al 10 % (6.1.1), o con ácido clorhídrico 15 % (ver 6.1.2) o con agua regia (ver 6.1.8). Después debe ser enjuagado con suficiente agua, hasta remover toda la disolución ácida.

En los casos en que el material presente grasa, agregarle acetona o hexano y distribuirlo por todas las paredes del material. Desechar el disolvente de acuerdo al procedimiento de desechos y posteriormente enjuagar con agua. Continuar como se indica en el punto 6.2

Los recipientes de muestras deben lavarse con disolución de detergente, enjuagarse con agua de la llave y dejarlo remojando toda la noche, en ácido nítrico al 10 % (6.1.1). Posteriormente enjuagarlo con agua.

Verificar que el lavado de material se efectuó correctamente.

Guardar en cuanto esté seco para evitar contaminación por partículas en el aire.

Preparación de la muestra.

Las muestras de lodos y biosólidos, requieren en general, un tratamiento previo antes del análisis. Los metales totales incluye la combinación de los que se encuentran en la fase orgánica y en la inorgánica, así como los disueltos y en partículas.

Notas:

Durante todo el procedimiento analítico donde se mencione utilización de ácidos, estos deben ser grado suprapuro.

Procesar las muestras de control, establecidas en su programa de AC, por cada serie de digestión.

Digestión por horno

Homogeneizar perfectamente la muestra, verificando que no existan sólidos adheridos en el fondo del recipiente. En seguida, vaciar aproximadamente 10 g en una cápsula de porcelana (a peso constante) y colocarla en el horno hasta que el material este a peso constante. El horno debe estar a 100 °C.

Digestión por parrilla.

Pesar y registrar de uno a dos gramos de la muestra en un vaso de precipitado de 100 mL o en un crisol de platino y añadir 10 mL de HNO_3 concentrado. Cubrir con un vidrio de reloj y calentar lentamente hasta que exista reflujo de vapores, cuidando que no alcance la temperatura de ebullición. Calentar casi a sequedad.

Enfriar y lavar el vidrio de reloj con agua. Adicionar otros 5 mL de HNO_3 concentrado. Cubrir y continuar calentando hasta digestión completa, que es cuando la solución adquiere apariencia cristalina y los vapores son blancos. Agregar el ácido necesario para obtener esto.

Evaporar hasta obtener un volumen aproximado de dos mL, enfriar y enjuagar el vidrio de reloj con agua. Añadir 10 mL de HCl 1:1 (ver 6.1.3) y 15 mL de agua. Calentar nuevamente por 15 minutos para redissolver precipitados que se hayan formado.

Enfriar, enjuagar las paredes del vaso y vidrio de reloj con agua. Vaciar el contenido a un matraz volumétrico de 50 mL, filtrando a través de papel filtro No. 40, para remover el material insoluble que pueda tapar el nebulizador. Aforar al volumen correspondiente.

Digestión por autoclave.

En un vaso de teflón de 100 mL, transfiera 0,5 g de la muestra seca. Marque y pese los vasos antes y después para obtener el peso exacto de la muestra.

Añadir cinco mL de HNO_3 , tapar los recipientes herméticamente y la autoclave. Encender el equipo y dejarla en operación a 15 lb, aproximadamente una hora. El laboratorio debe validar el tiempo de digestión, con el equipo que utilizará para tal fin.

Sacar y enfriar a temperatura ambiente los vasos de teflón.

Abrir y filtrar a través de papel filtro No. 40, si se requiere, para retener materiales insolubles. Lavar las paredes con agua y diluir la muestra a 50 mL.

Digestión por horno de microondas.

Para usar el horno de microondas como fuente de energía, en la digestión de la muestra, se sigue el mismo procedimiento descrito en el punto 6.3.3, excepto que el tiempo de la digestión puede variar de 30 a 50 min, dependiendo de las características de la muestra y de la potencia aplicada.

Análisis instrumental.

Determinación de cadmio, cobre, cromo, níquel, plomo y zinc, por aspiración directa flama-aire-acetileno.

Conectar la lámpara de cátodo hueco o descarga sin electrodos y encender el equipo.

Seleccionar la longitud de onda y el ancho de banda espectral de acuerdo al metal a analizar, siguiendo el protocolo del laboratorio o el manual del fabricante. En la tabla 1 se proponen las longitudes de onda y el ancho de banda espectral con los que se pueden analizar los elementos.

Tabla 1. Relación de longitud y ancho de banda para los elementos analizados por flama.

Elemento	Longitud de onda (λ)	Ancho de banda espectral (nm)
Cd	228,8	0,7
Cr	357,9	0,7
Cu	324,8	0,7
Ni	232,0	0,7
Pb	217,0	0,7
Zn	213,9	0,7

Alinear la lámpara vertical, horizontal y rotacionalmente, hasta obtener la máxima energía.
 Esperar de 10 a 20 minutos para que se establezca el instrumento.
 Ajustar las condiciones de la flama aire-acetileno, de acuerdo con las indicaciones del fabricante.
 Encender la flama. Permitir que el sistema alcance el equilibrio de temperatura.
 Aspirar el blanco y ajustar el instrumento a cero.
 Aspirar la disolución del estándar (6.1.10) con la concentración necesaria (ver tabla 2) para obtener 0,2 unidades de absorbancia. Ajustar con esta disolución el instrumento y si es necesario también ajustar el quemador, hasta obtener el valor más cercano a 0,2 unidades de absorbancia.

Tabla 2. Relación de concentraciones para calibración del instrumento utilizando flama.

Elemento	Concentración ppm
Cd	1,5
Cr	4,0
Cu	2,0
Ni	7,0
Pb	9,0
Zn	1,0

Aspirar las disoluciones estándar, mínimo cinco concentraciones (ver 6.1.10), para realizar la curva de calibración y un blanco de reactivos. El primer punto debe ser igual o mayor al límite de cuantificación del método y el último debe estar dentro del intervalo lineal.

Proceder a analizar las muestras problema y las muestras de control. Si las lecturas de las muestras están fuera del intervalo de la curva de calibración, efectuar la(s) dilución(s) que sean necesarias, hasta obtener valores en el intervalo de trabajo.

Determinación de mercurio y arsénico por generador de hidruros.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Instalar la lámpara correspondiente al metal que se va a analizar en el instrumento y encenderlo. Esperar de 20 a 30 minutos para su estabilización.

Seleccionar la longitud de onda y el ancho de banda espectral. En la tabla 3 se proponen las longitudes de onda y ancho de banda para cada uno de los elementos.

Tabla 3. Relación de longitud y ancho de banda para los elementos analizados por generador de hidruros.

Elemento	Longitud de onda (λ)	Ancho de banda espectral (nm)
As	193,7	0,7
Hg	253,7	0,7

Alinear la lámpara vertical, horizontal y rotacionalmente, hasta obtener la máxima energía.

Alinear la celda de cuarzo vertical, horizontal y rotacionalmente, hasta obtener la mínima energía. Esperar de 20 a 30 minutos para su estabilización.

Ajustar y optimizar los flujos de aire-acetileno y encender la flama. Esperar aproximadamente 10 minutos para que su estabilización. Este ajuste solo se requiere para la determinación de arsénico.

Abrir el tanque de nitrógeno y ajustar la presión de acuerdo a las especificaciones del fabricante, para transportar el hidruro formado a la celda de cuarzo.

Colocar en el recipiente del reductor la disolución de borohidruro de sodio (ver punto 6.1) y conectar al sistema según las especificaciones del instrumento.

Conectar el vaso de reacción vacío, al sistema generador y esperar el tiempo suficiente a que se establezca el sistema. Cuando se ha estabilizado, registrar el cero en el espectrofotómetro (autocero). Retirar el vaso.

Conectar otro vaso de reacción con 10 mL de HCl 1,5 %, permitir la entrada del hidruro formado y registrar el cero. Repetir esta operación hasta obtener el cero por lo menos tres veces. Retirar el vaso.

Vaciar en otro vaso de reacción, 10 mL de disolución estándar, para obtener el 0,2 unidades de absorbancia. En la tabla 4 se indican las concentraciones, con las que se obtiene el 0,2 unidades de absorbancia. Repetir esta operación hasta que se obtenga por lo menos tres veces la misma lectura, la cual deberá ser aproximadamente de 0,2. En caso de existir variación en las lecturas, verificar la alineación de la lámpara y de la celda de cuarzo.

Tabla 4. Relación de concentraciones para calibración del instrumento utilizando generador de hidruros.

Elemento	Concentración, ng
As	5
Hg	50

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

De forma similar al punto anterior, realizar la curva de calibración con un mínimo de cinco concentraciones y por lo menos tres lecturas independientes. Limpiar el sistema haciendo pasar ácido clorhídrico al 1,5%. cada tres lecturas.

Una vez determinada la curva de calibración, proceder a analizar el blanco, las muestras problema y las muestras de control, como se indica en los dos puntos anteriores. Si las lecturas de las muestras están fuera del intervalo de la curva de calibración, efectuar la(s) dilución(s) que sean necesarias, hasta obtener valores en el intervalo de trabajo.

Calibración

Todos los instrumentos y materiales de medición utilizados, deben ser calibrados y verificar su calibración periódicamente con materiales y/o sustancias de referencia certificadas, de acuerdo con el AC establecido.

Verificación de la calibración espectrofotómetro de absorción atómica

Independientemente del elemento a analizar, realizar dicha verificación del instrumento como se indica a continuación.

Conectar la lámpara de cobre y encender el equipo.

Seleccionar la longitud de onda a 324,8 nm y el ancho de banda a 0,7 nm.

Alinear la lámpara horizontal, vertical y rotacionalmente, hasta obtener la máxima energía.

Una vez encendida la lámpara y alineada, esperar de 10 a 20 min para la estabilización del instrumento.

Ajustar las condiciones de la flama aire-acetileno, de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

Encender la flama. Permitir que el sistema alcance el equilibrio de temperatura.

Aspirar un blanco.

Aspirar una disolución estándar de cobre de 2 ppm (ver punto 6.1.10), la que debe dar 0,2 unidades de absorbancia, \pm lo establecido en los resultados obtenidos de las validaciones analíticas.

Cálculos

Interpolar los valores de absorbancia o altura de pico de la muestra analizada en la curva de calibración, para obtener la concentración en mg/l (A). Enseguida realizar los cálculos, tomando en cuenta los factores de dilución y peso de la muestra con la fórmula siguiente:

$$\text{mg / kg} = \frac{A \times B \times F D}{C} \quad (2)$$

donde

A: Concentración en mg/l de la muestra a interpolar en la curva de calibración.

B: Volumen al que se llevó la muestra (mL).

C: Peso de la muestra (g)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FD: Factor de dilución

En los instrumentos que tienen integrado un procesador de datos, se puede obtener directamente la concentración del elemento.

Reporte de resultados.

No se deben reportar concentraciones de elementos por debajo del límite de cuantificación.

Reportar los resultados del análisis en mg/kg.

Interferencias

Probablemente no existirá nunca un método analítico que esté totalmente libre de alguna interferencia por parte de la naturaleza de la muestra, sin embargo en absorción atómica, por ser una técnica muy específica, las interferencias están bien definidas como también los medios de tratarlas

Interferencia por matriz: la principal interferencia para este tipo de muestras es la presencia de materia orgánica y sólidos en suspensión, lo que se elimina mediante una adecuada digestión de la muestra.

Interferencia de absorción no específica (fondo). La absorción molecular y la dispersión de la luz causadas por partículas sólidas en la flama pueden causar errores positivos. Para evitar este problema se debe utilizar la corrección de fondo del instrumento. Estos sólidos además de presentar una barrera física al paso de la luz de la lámpara en la flama, forman depósitos en la cabeza del quemador, sin embargo esto se puede evitar aspirando continuamente agua acidulada.

Interferencia físicas. Están relacionadas con las diferentes propiedades existentes entre las muestras y los estándares. Las cuales pueden afectar a la aspiración y eficiencia de nebulización en el sistema de atomización. Si las soluciones presentan diferencias de viscosidad y/o tensión superficial, la eficiencia de nebulización no será igual y los resultados analíticos se ven afectados. La presencia de otros compuestos además del elemento de interés pueden afectar a los resultados analíticos. Estas interferencias pueden ser corregidas utilizando el método de adición interna (adición de estándares).

Las interferencias en generador de hidruros se presentan por presencia de otros elementos o moléculas presentes en la muestra. Los efectos se ven reflejados en una disminución de la cantidad de hidruro formado y por lo tanto en una disminución de la señal analítica. La forma de eliminar este tipo de interferencias es modificando la concentración del ácido y/o del borohidruro de sodio. (PROY-NOM-004-ECOL-2001).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN