



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

IZTACALA

"ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE TRES ACELERADORES PARA LA
ELABORACIÓN DE COMPOSTA COMO PARTE DEL
TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS"

T E S I S

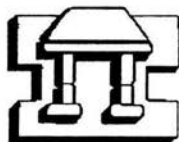
PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

EDUARDO LÓPEZ CURIEL

DIRECTOR DE TESIS: M.E.LA. EDMUNDO DUCOING CHAHÓ



IZTACALA

LOS REYES IZTACALA, TLALNEPANTLA,
ESTADO DE MÉXICO, 2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICADO A:

**Mi madre, Blanca Esther Curiel Corona.
Por su cariño, su ejemplo y su apoyo.**

**Erika Jazmín Delgado de la Torre.
Eres la luz que ilumina mi camino.**

Alberto y Marisol, mis hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos los maestros que contribuyeron a mi formación, y en especial a los maestros Edmundo Ducoing Chahó y Miguel Castillo González por el interés que han tenido en mi trabajo y en mi desarrollo profesional.

También agradezco a la Ing. Mónica Vulling Garza todas las facilidades para el desarrollo de este trabajo, así como su apoyo, su consejo, su confianza y su amistad.

De una manera muy especial, quiero agradecer al equipo que laboró en la Planta de Elaboración de Composta "Tlalcalli, La casa de la Tierra", durante el desarrollo de este proyecto:

Biól. Angel Zorraquín Cornejo	
Salvador Colín Ballesteros	
Jerónimo Mercado Pedraza	(Don Jero)
Felipe Serafín Ruiz	(Abejita)
Marcelino Reyes Vera	(Marce)
Juan González Hernández	(Lagarto)
Juvenal Hernández Roy	(Jarocho)
Alejandro García García	(Alex)
Raúl Montes de Oca	(Güero)
Hilario Romero Paredes	(Chiapas)

Gracias por su ayuda, por su compromiso, y por todos los buenos momentos.

Agradezco también a mis amigos Rogelio Padrón de León, Alfredo Velásquez García, Jesús Romero Rodríguez, Jacob Alí Cruz Casanova por su apoyo y por su compañía dentro y fuera de las aulas. Y de manera muy especial a Adrián Romero Rodríguez, por su gran ayuda.



TLAZOLTEOTL

Deidad azteca que representa la fuerza encargada de la depuración de la tierra a través del procesamiento de las inmundicias. Está también relacionada con el sustento de la humanidad y la abundancia de los cultivos, ya que al “devorar” los desechos, produce el abono que fertiliza el suelo.

CONTENIDO:

IZT.

RESUMEN	1
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	2
I.1 JUSTIFICACION	5
I.2 ANTECEDENTES	8
I.3 OBJETIVOS	20
I.4 HIPÓTESIS	20
CAPITULO II. METODOLOGÍA	21
II.1 Características del área de estudio	21
II.2 Preparación de acelerador orgánico "Agroplus"	23
II.3 Preparación de acelerador comercial	24
II.4 Obtención de los lodos residuales	24
II.5 Preparación de pilas de composta y adición de aceleradores	25
II.6 Medición de parámetros	28
II.7 Volteo de las pilas de composta durante el proceso de composteo	30
CAPITULO III. RESULTADOS	33
CAPITULO IV. ANALISIS DE RESULTADOS	40
CAPITULO V. DISCUSION	43
CAPITULO VI. CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFIA	46
ANEXOS	51

RESUMEN

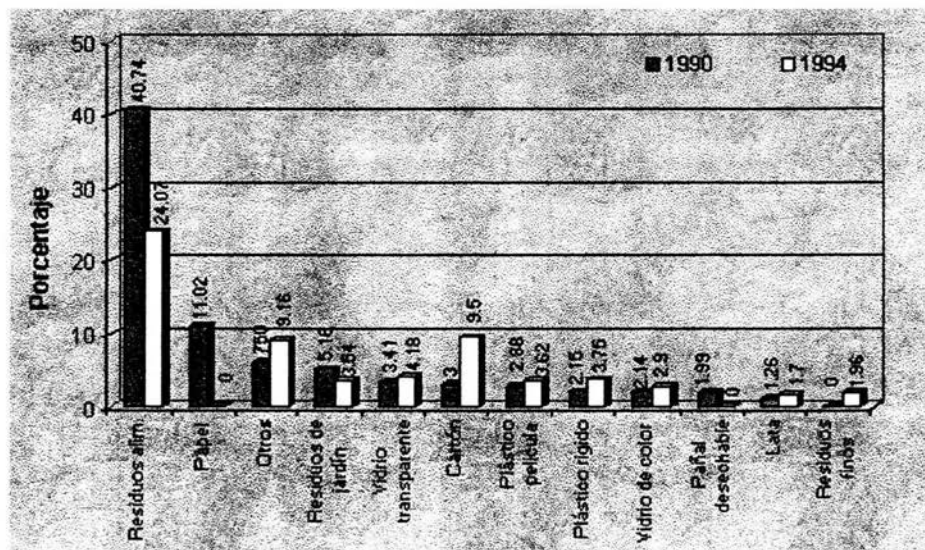
En el presente trabajo se evaluó la adición de tres distintos catalizadores o "aceleradores" de las reacciones de degradación de la materia orgánica (uno comercial, otro de preparación casera y lodos residuales de una planta de tratamiento de agua residual) durante el composteo aeróbico con la finalidad de conocer el tiempo que requirió la estabilización de los materiales, así como determinar los costos de producción de cada tratamiento, siempre comparados a un grupo control. Durante el proceso se monitorearon parámetros como la temperatura, el pH, la humedad y el color para conocer el estado de degradación de los materiales y para conocer el término del proceso.

Se pudo determinar que los tratamientos tuvieron una diferencia comparándolos con el control, ya que requirieron de menos tiempo para la finalización del proceso. Sin embargo se pudo concluir que no existen diferencias significativas entre los tres tratamientos. Considerando otros aspectos como el costo de producción y las implicaciones ambientales de su utilización, podemos concluir que la utilización del catalizador utilizado en agricultura orgánica, representa las mayores ventajas, ya que tiene costos más bajos de producción, es ambientalmente seguro y no requiere de aspectos técnicos relevantes que deban ser considerados para su utilización.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos es una actividad derivada de los hábitos de consumo y de la mayoría de las actividades de la sociedad. La composición de los residuos varía de acuerdo al tipo de población (rural, semirural y urbano) y al número de habitantes, sin embargo, para 1998 se estimaba que la mayor parte de los residuos estaba conformado por los residuos orgánicos, en casi el 50% (SEMARNAP/INE, 1998)

Gráfica 1. Composición física de los residuos sólidos municipales 1990-1994



Nota: * No totaliza 100% por incluir otros subproductos.

Fuente: 1990: INE, SEDESOL, 1994. Informe de la situación General en Materia del Equilibrio Ecológico 1991-1992. Pág. 187.

1994: INE, SEDESOL, 1994. Informe de la Situación General en Materia del Equilibrio Ecológico 1993-1994. Pág. 237.

Tomado de: http://www.ine.gob.mx/dgga/indicadores/espanol/i_rsm5.htm

Dentro de las labores para el control de los residuos se llevan a cabo actividades como el reuso de materiales de desecho, el reciclaje de materiales para incorporarlos a nuevos procesos, el tratamiento de algunos residuos para minimizar su impacto potencial al ambiente y por último, la disposición de los residuos en estrictas condiciones que aseguran un menor impacto ambiental.

Uno de los principales grupos de residuos que son tratados son los residuos orgánicos, que por naturaleza pueden alterar de manera significativa al ambiente, y que además dentro de la composición física de los residuos en general, se ha identificado que son los más generados.

El tratamiento de los residuos orgánicos forma parte importante dentro de las fases que componen el manejo integral de los residuos sólidos municipales. Existen diversos tratamientos, sin embargo, uno de los más recurrentes es el composteo o compostaje, desarrollado con resultados satisfactorios en países como Alemania, España, Brasil, Canadá, Estados Unidos, y en menor escala en México. Fernández *et al.* en el 2001, describieron el proceso de compostaje de residuos de podas de árboles de parques, plazas y jardines urbanos en Brasil. Mencionan que este aprovechamiento de los residuos evita que sean dispuestos en el relleno y de este modo se contribuye a la optimización de la vida útil del sitio de disposición final de residuos. Por esta razón, el tratamiento de los residuos orgánicos tiene beneficios significativos, como son:

- (1) Disminución de los volúmenes confinados en los sitios de disposición y de este modo, prolongar su vida útil;
- (2) Disminución en la generación de biogás y lixiviados en sitios de disposición y
- (3) El resultado final del tratamiento es un material estable rico en compuestos orgánicos y elementos químicos útiles para el suelo. (Soliva, M & Paulet, S. 2001)

La importancia de la elaboración de composta radica en que es una técnica relativamente sencilla que puede dar tratamiento a grandes volúmenes de residuos orgánicos y que en la mayoría de los casos, no requiere de infraestructura especializada.

Sin embargo, diversas experiencias sobre el tratamiento de los residuos mediante el composteo, muestran tiempos prolongados para la estabilización del material y para la finalización del proceso. Esto puede llegar a representar problemas operativos en los lugares donde se realizan estos procedimientos.

Actualmente se pueden encontrar en el mercado diversos productos de marcas registradas que tienen propiedades catalizadoras de los procesos para la degradación de los residuos orgánicos, además que también se utilizan algunos productos de elaboración casera o en otros casos, se adicionan materiales orgánicos con gran cantidad de microorganismos presentes, como el caso de lodos residuales de plantas de tratamiento de agua, también llamados "biosólidos".

El conocimiento y aplicación de la técnica adecuada para composteo, además de la adición de “aceleradores” de los procesos de degradación, pueden llegar a representar importantes beneficios en el tratamiento de grandes volúmenes de residuos.

I.1 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo pretende ser un proyecto enmarcado dentro de la protección ambiental a través del manejo adecuado de los residuos sólidos municipales, y en específico de una de las opciones del tratamiento de los residuos orgánicos que es el composteo.

Es una realidad que por mucho tiempo el rubro de los residuos y su manejo adecuado fue totalmente olvidado por las autoridades y por la sociedad en general; por consecuencia no se tomaban en cuenta los aspectos ambientales, causando con esto un gran impacto negativo en el suelo, subsuelo, agua y aire, así como en la calidad de vida y la salud de los habitantes cercanos a sitios de disposición a cielo abierto, al tomar decisiones apresuradas y que "ocultarán" los residuos lejos de los ojos de los ciudadanos (Cortinas, C. 2001).

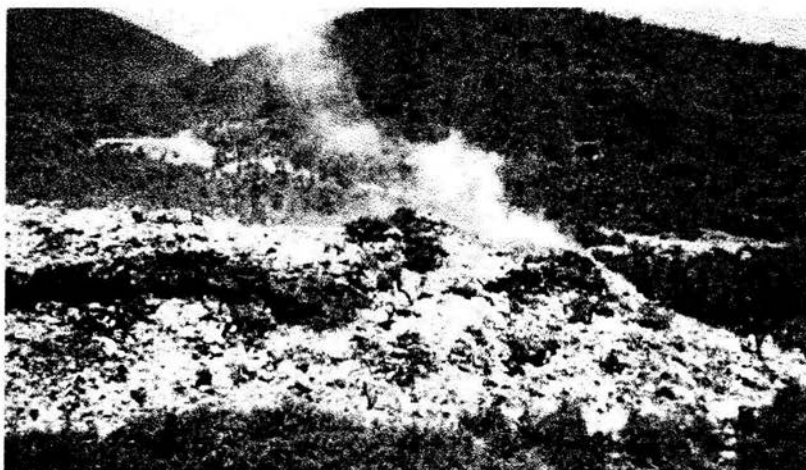


Figura 1. Quema de residuos en tiradero a cielo abierto

Los residuos sólidos se han convertido en un gran problema derivado de los hábitos de consumo de la sociedad. La generación *per capita* promedio estimada para las ciudades medias y grandes de la República Mexicana fue, para 1997, de 0.98 kg. por habitante al día, por otra parte, la caracterización de los residuos muestra que el mayor porcentaje lo representan los residuos orgánicos. Es interesante mencionar que estos residuos provienen en su mayoría de fuentes domiciliarias como se mostró en las Estadísticas e Indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México en 1997. Según este estudio, los domicilios aportan el 77% del total de los residuos sólidos (SEMARNAP INE, 1997).

Para disminuir los volúmenes que son destinados a confinamiento en los sitios de disposición final, es necesario plantear estrategias dirigidas a la atención de los residuos orgánicos provenientes de los domicilios, para esto es necesario estructurar programas eficientes de separación de residuos.



Figura 2. Operaciones en sitio de disposición controlado

La gestión integral de los residuos sólidos municipales es la mejor solución a los problemas que se derivan del inadecuado manejo de los residuos. Sin embargo su aplicación requiere de una cuantiosa parte del presupuesto municipal, por ejemplo, la recolección y transporte de desechos sólidos y su disposición final en muchas ciudades representan el 20% al 40% del presupuesto municipal. Para esta situación es necesario plantear estrategias y soluciones a bajo costo que podrían permitir a las municipalidades mejorar su capacidad de gestión, entre éstas se plantean la recuperación de materiales susceptibles de ser comercializados o reutilizados y el composteo de los residuos orgánicos que representan la mayor del total de los residuos sólidos municipales. (Bartone, 1987)

El composteo, desde diversos puntos de vista, es una alternativa viable para el tratamiento de la mayoría de los residuos orgánicos, y a la vez es una parte importante dentro de las acciones tendientes al manejo integral de los residuos sólidos municipales, además, la Agencia de

Protección del Ambiente de Estados Unidos (EPA) recomienda el uso de la composta para diversos fines, como por ejemplo, el adicionar cantidad de composta en los suelos puede ser un método para el control de enfermedades de plantas, para el control de la erosión en terrenos con pendientes, para labores de reforestación y rehabilitación de hábitat. (EPA, 1997) En 1999, la EPA desarrolló un estudio para comprobar el efecto de los materiales composteados como factor de crecimiento de arbustos y árboles en tres sitios de una reserva india con suelos altamente degradados. Durante tres años, se monitorearon dichos suelos. Al finalizar el periodo, las observaciones mostraron que la adición de estos materiales a los suelos tuvieron una respuesta favorable y visiblemente superior a suelos sin tratamiento, además se notó un alto índice de supervivencia en árboles plantados (pino blanco). Concluyeron que el adecuado tratamiento de los residuos orgánicos presentes en los residuos sólidos, pueden ser una alternativa para la recuperación de suelos degradados. Por otra parte, Guerrero, *et al.* en el año 2000 evaluaron la habilidad de la composta para reestablecer las poblaciones de microorganismo del suelo, así como para reestablecer las propiedades físicas de suelos quemados. En este experimento, cuatro tratamientos fueron desarrollados para adicionar diferentes dosis de composta a un suelo Calcico rodoxeralf quemado y los cambios en las poblaciones microbianas, la estabilidad agregada y la densidad de volumen fueron evaluadas durante un año, mostrando cambios importantes y benéficos para estos suelos después de tres meses de adición.

En 1996, Kostov *et al.* adicionaron dosis de residuos orgánicos composteados a cultivos de tomate, pudiendo observar un efecto positivo en el rendimiento, además de un incremento en la calidad de frutos comparado con un suelo tratado con fertilizantes y estiércol.

I.2 ANTECEDENTES

Las principales causas del deterioro del ambiente se deben al modelo actual de producción y patrones de consumo insostenibles. De manera progresiva aumenta la cantidad y variedad de residuos, así como gases emitidos a la atmósfera que progresivamente alteran de manera negativa a los recursos naturales, y por lo tanto repercute sobre la calidad de vida de la sociedad.

Tan sólo en lo que se refiere a residuos sólidos municipales, se estima que se generan alrededor de 80 mil toneladas al día en todo el país. (SEMARNAP/INE, 1998). La composición y cantidad dependen de los patrones de consumo y de las estructuras económicas e industriales según sea la entidad, sin embargo, el impacto que estos pudieran producir depende de la composición y origen de los desechos, así como por su tipo de manejo. En 1995, se estimaba que en el territorio nacional habitaban 91.2 millones de personas y que existía una generación *per capita* de residuos sólidos municipales de 0.3 Kg./habitante, además de ser el residuo orgánico el que ocupaba mayor porcentaje en la composición de los residuos; recientemente se ha estimado que en el año 2000 habitaban 97 millones de personas y que la generación *per capita* de residuos sólidos municipales es de 0.865 Kg/habitantes y dentro de la composición de los residuos, nuevamente el mayor porcentaje lo ocupan los residuos orgánicos, además de estar presentes diversos productos como plásticos, cartón, y en ocasiones algunos residuos peligrosos, como pueden ser envases vacíos de insecticidas, envases vacíos de productos de limpieza y baterías usadas, residuos biológico-infecciosos, entre otros. (Sancho, Cervera J. y Rosiles G., 1999)

La disposición de grandes volúmenes de residuos orgánicos representa además algunos problemas técnicos en los sitios de disposición final e incrementa la posibilidad de impactos ambientales negativos. Entre los posibles impactos que pueden generarse se puede mencionar como de menor importancia pero que por su incidencia social son los que provocan la mayor parte de las quejas: la emisión de olores, atracción de insectos, impactos paisajísticos; y los de mayor importancia, por los riesgos potenciales son: la generación de lixiviados, la emisión de gases de vertedero o biogás e inestabilidad y asentamiento de la masa de residuos. La degradación de la materia orgánica en condiciones anaerobias genera lixiviados y las emisiones de biogás. En condiciones de laboratorio se ha medido que una tonelada de residuos urbanos mezclados, cuyo contenido de materia orgánica degradable es de 45% en peso, puede producir

de 150 a 250 metros cúbicos de biogás. (Aleza, F. 2002) Ayalon *et al.* en el 2001, mencionan que el 50% del biogás esta compuesto por metano, un gas que favorece el efecto invernadero, ellos sugieren minimizar estos impactos convirtiendo el metano en bióxido de carbono a través de procesos biológicos de muy bajo costo como el composteo. A pesar de que el bióxido de carbono favorece también al efecto invernadero, es menos efectivo que el metano, McBean en el 2002 mencionó que el metano impacta 21 veces más que el CO₂.

Lo que se refiere a la inestabilidad y asentamiento de los rellenos sanitarios, López Moreda en el 2000 distinguió dos etapas, el asentamiento primario que ocurre durante los primeros treinta días y tiene que ver con un rápido decaimiento estructural de los residuos; y el asentamiento secundario que se prolonga en el tiempo con un comportamiento logarítmico y se correlaciona con la degradación de los materiales dispuestos. Estimó que el asentamiento alcanza valores de hasta 29%.

IZT.

Blight y Mbande en 1996, realizaron un análisis para identificar algunos problemas acerca del manejo integral de los residuos en países en vías de desarrollo, identificaron que la problemática abarca desde una legislación con muchas lagunas jurídicas hasta un desconocimiento técnico en esta materia. Sin embargo, esta situación ha cambiado ya que se tiene gran interés por parte de la sociedad en los temas de protección del ambiente, y esto ha derivado que se desarrolle esta área y la investigación de los procesos para minimizar, dar tratamiento y confinar adecuadamente los residuos, además de actualizar la legislación con el fin de cubrir las necesidades. A pesar de esta tendencia, aún falta un largo recorrido para llegar a tener niveles aceptables que aseguren los elementos naturales y la salud de la población.

El Estado de México tiene gran relevancia en el país, entre otras cosas por los 122 municipios que lo conforman, con casi aproximadamente 4'330,000 habitantes y por las diversas actividades industriales y económicas que se desarrollan en la entidad (INEGI, 2000). Por lo anterior se deriva que la generación de residuos sólidos municipales es considerable, se estima que en todo el Estado se generan casi 12 mil toneladas de residuos sólidos municipales por día; de este total, el 72% es generado en los municipios de la Zona Metropolitana del Valle de México. De la generación total del Estado aproximadamente el 64% son depositadas en sitios adecuados como son Rellenos Sanitarios y Sitios de Disposición Final Controlados, el porcentaje restante es depositado de manera inadecuada en sitios a cielo abierto o sin control



ocasionando alteraciones negativas al ambiente y la salud pública (Comisión Ambiental Metropolitana, 2001).



Figura 3. Tiradero a cielo abierto en Tultitlán, Estado de México

El manejo de los residuos sólidos municipales, que comprende el servicio de limpia, recolección, tratamiento y disposición final, es una de las atribuciones que los ayuntamientos tienen a su cargo como se establece en el Art. 115°, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, sin embargo, en ocasiones por falta de recursos técnicos y económicos, los municipios no se encuentran en condiciones de cumplir con esta actividad. Tan sólo en lo que se refiere a la disposición final de los residuos sólidos, muchos municipios no cuentan con la infraestructura mínima para disponerlos y se ven obligados, en el mejor de los casos, a depositar en sitios controlados de otras localidades, invirtiendo grandes cantidades de recursos en el transporte; aunque la práctica más común es disponer en sitios inadecuados, que no cumplen con las Normas Oficiales Mexicanas y las disposiciones en esta materia.

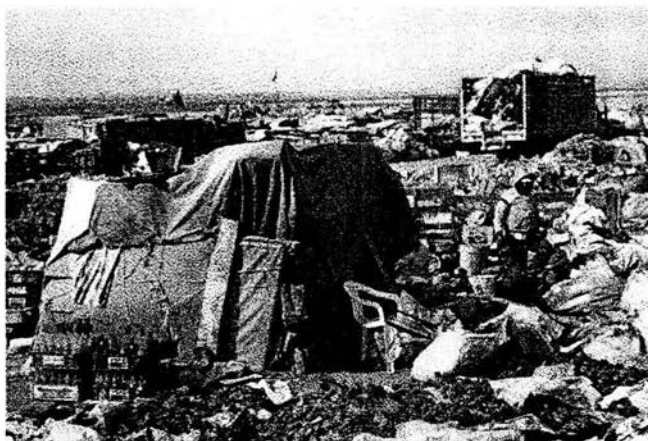


Figura 4. Sitio de disposición a cielo abierto y labores de recuperación de residuos conocido como “pepena”

Por otra parte, los sitios que operan actualmente, tienen una vida útil que día a día se agota por la gran cantidad de residuos que reciben y los limitados espacios. Uno de los casos más conocidos es el del Distrito Federal donde esta situación es crítica, ya que diariamente se generan cerca de 12 mil toneladas de residuos sólidos y se tiene dos sitios para disposición, Santa Catarina y Bordo Poniente. El sitio de Santa Catarina esta en proceso de clausura y el relleno sanitario de Bordo Poniente esta próximo a su saturación, se estima que a finales de este año, deberá incorporarse una nueva etapa o construir otro relleno, sin embargo, no existen lugares propios para este fin (JICA y GDF, 1999).

Los proyectos de construcción de nuevos sitios de disposición final, así como las ampliaciones de los existentes, deben cumplir con las disposiciones oficiales en materia de impacto ambiental y la NOM-ECOL-083-1997 que establece las características que debe presentar un predio y los aspectos que se deben considerar para una obra de este tipo. Todo esto implica un despliegue de recursos por parte de los municipios que en la mayoría de las veces es limitado. Es por esta razón que una tendencia muy marcada por parte de las autoridades municipales y estatales es implementar una gestión integral de los residuos sólidos donde se involucren aspectos tales como hacer más eficiente la recolección domiciliaria, incorporar programas de separación de residuos, selección y recuperación de materiales reciclables, el tratamiento de los residuos orgánicos y disposición final cumpliendo con algunos aspectos de operación e infraestructura,

con el fin desviar los residuos destinados a disposición y de este modo alargar la vida útil de los sitios existentes y con esto dar un manejo adecuado a los residuos.

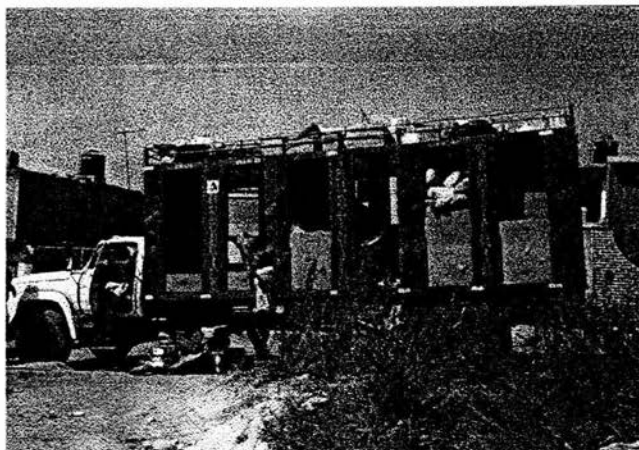


Figura 5. Camión especializado en recolección separada de residuos, Tultepec, Estado de México

Tomando en cuenta los aspectos anteriormente mencionados, algunos municipios del Estado de México como Cuautitlán Izcalli, Atizapán de Zaragoza, Tultepec, Capulhuac, Tlalmanalco y Xalatlaco entre otros, han incorporado proyectos de recuperación de subproductos y tratamiento de residuos orgánicos.



Figura 6. Composteo en Capulhuac, Estado de México

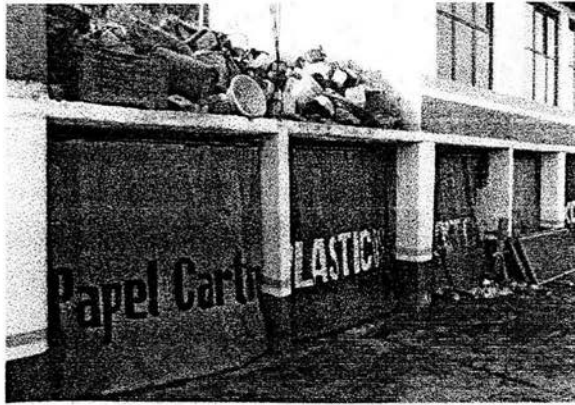


Figura 7. Centro de Acopio en Cocotitlán, Estado de México.

Existen varias técnicas de tratamiento para los residuos orgánicos de las que se pueden distinguir tratamientos térmicos y tratamientos químico-biológicos, dentro de estos existe la digestión anaeróbica, la metanogénesis, el composteo con sus distintas variantes como pueden ser en trincheras, pilas dinámicas, pilas estáticas, composteo confinado (biodigestores), entre otros. El tratamiento más utilizado es el composteo por ser un método relativamente sencillo y de bajo costo; que es un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica, esta descomposición es llevada a cabo por microorganismos como, bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos, en condiciones aeróbicas o anaeróbicas dependiendo de la disponibilidad de oxígeno y dando como resultado la disminución del volumen original y además proporciona un material estable, libre de olores ofensivos y con gran variedad de nutrientes y un alto contenido de materia orgánica. (Wehenpohl, 1999; Lund, 1996)

Los objetivos generales del composteo son:

- (1) Transformar los materiales orgánicos biodegradables en un material biológicamente estable y en el proceso reducir el volumen original del residuo;
- (2) Destruir patógenos, larvas y huevos de insectos y otros organismos y semillas que pudieran estar presentes en los residuos orgánicos;
- (3) Retener el contenido máximo de nutrientes, y
- (4) Producir un material llamado "composta" que puede ser usado como mejorador del suelo (Wiles, 1978)

Esto debido a que al incorporar este material al suelo provoca cambios físicos como el aumento de la porosidad y retención de humedad, facilita el crecimiento de los sistemas radiculares de las plantas, adiciona trazas de elementos y sustancias nutritivas que requieren las plantas para su desarrollo y aumenta la actividad biológica del suelo (USAID, 1982; Kolmans & Vásquez, 1996). Castillo *et al.* en el 2000, evaluaron los efectos de la aplicación de abonos orgánicos en las propiedades físicas de un suelo durante tres años. Los resultados mostraron que este tipo de materiales ejercen una influencia positiva en las propiedades físicas del suelo, contribuyendo para su mejor agregación y estructuración del suelo, mejorando la conductividad hidráulica, infiltración. Mencionan también que los abonos aplicados en un volumen de 4 a 20 toneladas por hectárea, han recuperado suelos con avanzados estados erosivos.

Además produce también cambios biológicos sustanciales, como fue observado por Pascual *et al.* en 1997 a través de un estudio donde se evaluaron los cambios producidos durante un año por adicionaron desechos sólidos composteados a un suelo árido. Observaron que la adición de estos materiales al suelo contribuyó al incremento de los valores de carbono de biomasa, respiración basa, cociente de C orgánico total indicando la activación de los microorganismos del suelo. Por otra parte, Álvarez *et al.* en el 2000, donde evaluaron el número de microorganismos, la respiración microbiana y la mineralización del nitrógeno en tepetate después de ser adicionado composta o "abono verde". Con este experimento pudieron observar que la incorporación de este material tuvo un efecto positivo en la actividad microbiana y que contribuyen al proceso de habilitación de tepetates para la producción agrícola.



Figura 8. Composta empacada para su distribución y uso.

Durante el proceso de composteo aerobio, están activados diversos microorganismos aerobios facultativos y obligados. En las fases primarias del proceso de composteo, las más predominantes son las bacterias mesofílicas. Después de aumentar la temperatura en el material de la pila de composta, predominan las bacterias termofílicas, que conducen a hongos termofílicos que aparecen después de 5 a 10 días. En las últimas etapas o periodo de maduración, aparecen mohos y actinomicetos. La microbiología de todos los procesos de composteo aerobio es similar. (Tchobanoglous et al., 1993). Langen *et al.*, en 1999 realizaron un estudio para conocer la sucesión de las comunidades microbianas en procesos de composteo y lombricomposteo (composta a partir de lombriz *Eisenia andrei*). Determinaron que la cinética microbiana durante el composteo puede deberse al agotamiento paulatino de compuestos de fácil degradación, al aumento relativo de compuestos de mayor complejidad estructural y a la formación de nuevas estructuras que sirven como sustratos en procesos posteriores de biodegradación, consideraron también que los cambios fueron consecuencia de interacciones de competencia por nutrientes y de depredación entre los organismos presentes en los residuos orgánicos.

Los parámetros cruciales para el control de los procesos de composteo aerobio incluyen: el porcentaje de humedad, relación Carbono/Nitrógeno (C:N), pH y temperatura, para la mayoría de los residuos orgánicos biodegradables, una vez que el contenido en humedad está en un nivel idóneo (50 a 60 %) y la masa está aireada, entonces el mecanismo microbiano se acelera. Los microorganismos aerobios que utilizan oxígeno, se alimentan de materia orgánica y desarrollan tejido celular a partir de nitrógeno, fósforo, algo de carbono y otros nutrientes necesarios. Gran parte del carbono sirve como fuente de energía para los organismos y se quema y se expulsa bióxido de carbono, donde el carbono orgánico sirve como fuente de energía y carbono celular, se requiere más carbono que otros elementos, por ejemplo nitrógeno (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

La importancia de la elaboración de composta radica en que éste se ha convertido en un nexo entre los sistemas espaciales urbanos y rurales, pues el composteo es una alternativa de tratamiento de los desechos orgánicos y al mismo tiempo, al mejoramiento de la calidad de los suelos. Dentro de la problemática del manejo de los desechos sólidos, la importancia se encuentra en que el composteo permite:

- Disminuir los niveles de contaminación que producen los residuos orgánicos por el proceso natural de descomposición, al mismo tiempo que genera gas metano, así como la disminución de la proliferación de vectores transmisores de enfermedades y fauna nociva.
- Utilizar de una manera ambientalmente segura los residuos orgánicos.
- Aumentar las posibilidades de producción de viveros y jardines en zonas urbanas o poblaciones en proceso de crecimiento que no cuentan con terrenos fértiles para ello.
- Permite prolongar la vida útil de los sitios de disposición final, ya que se aprovecha gran cantidad de residuos que de otra manera ocuparían espacio en dichos sitios (Campos *et al.*, 1998).

Alrededor del mundo, muchas poblaciones han incorporado algún sistema de composteo como parte del manejo de los residuos sólidos, sin embargo, es importante identificar el destino que tendrá el producto final, ya que si el residuo orgánico se encuentra mezclado con residuos sólidos, afecta de manera directa la calidad de la composta para su venta o para la incorporación a los cultivos, y para esto es necesario tener articulado todo el sistema para que se realice una adecuada separación desde la fuente de generación y evitando mezclas que puedan afectar la calidad de la composta, además que favorezcan la recuperación de subproductos presentes en los residuos. (Richard, 2001)

En el Estado de México se han desarrollado experiencias interesantes en cuanto a la elaboración de composta a partir de residuos orgánicos municipales, donde se presentan técnicas como el lombricomposteo, composteo aeróbico en trincheras, composteo confinado en hoyo, por mencionar algunas, donde las diferencias más relevantes se observan en los tiempos de conclusión del proceso de composteo (Aguilar, 2000). Tchobanoglous, *et. al.* (1993), menciona que bajo condiciones controladas, la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales puede transformarse en el material estable en un tiempo de cuatro a seis semanas, como ocurre en las experiencias de algunos municipios del Estado de México, como son Atizapan de Zaragoza, Xalatlaco y Tlalmanalco, aunque algunas experiencias registran hasta veinticuatro semanas como es el caso del municipio de Tultepec. Estos tiempos registrados para la elaboración de composta son relativamente largos, tomando en cuenta que diariamente se generan cantidades considerables de residuos orgánicos, así como la gran cantidad de residuos que deben ser tratados y acopiados en las plantas municipales de composteo. Es por esta razón que se busca hacer más eficientes los métodos de composteo por medio de

catalizadores, que en la mayoría de los casos son inóculos de microorganismos que permiten una acelerada descomposición de los materiales orgánicos, para incorporar un mayor volumen de residuos al proceso y elevar la producción.

Existen en el mercado varios tipos de catalizadores que aseguran una disminución considerable en el tiempo de preparación de la composta y a su vez aumentan la calidad del producto final. Estos productos son en su mayoría de origen extranjero y su precio comercial es alto. Los fabricantes y distribuidores aseguran haber probado dichos productos en distintos experimentos con excelentes resultados, sin embargo, estos análisis nunca son mostrados al momento de la compra.

Por otra parte, también es común utilizar lodos residuales, por la gran cantidad de microorganismos que contienen, para inocular compostas y de este modo favorecer a la descomposición de los materiales. Power *et al.* en el 2000 realizaron un estudio para caracterizar la composta, en términos de macro y micro nutrientes, producida en una planta piloto a través del compostaje de residuos de podas y de lodos provenientes de una estación de tratamiento de aguas residuales. Su estudio mostró que la adición de lodos al método de composteo aceleró el proceso de degradación de los materiales, ya que normalmente llevaba de 15 a 18 meses y con la adición de lodos se pudo lograr en 150 días.

El composteo de los lodos residuales es una alternativa para el tratamiento de dichos materiales, este método llamado de "biopile" es comúnmente utilizado y su producto final es utilizado para la biorremediación de sitios contaminados en lugares como Québec, Canadá (Morrissette *et al.*, 1997), o para el mejoramiento de suelos. Luxmoore en 1999 realizó un estudio donde fueron adicionadas cantidades de biosólidos composteados en suelos de tres regiones boscosas, como resultado de la adición de estos materiales, se mostró una respuesta favorable y un incremento en la productividad de estos suelos, mostrando de este modo, que el correcto tratamiento y manejo de los lodos puede ser una fuente importante de nutrientes para los suelos de bosques.

El composteo de los lodos residuales es un método de estabilización y tratamiento que requiere costos muy bajos para su operación y con excelentes resultados. Brasil ha explorado esta alternativa para el tratamiento de los lodos residuales. En el estado de Paraná actualmente se diseña un proyecto para dar tratamiento a 6,000 toneladas de lodos provenientes de plantas

potabilizadoras, que se convertirán en un importante insumo agrícola con gran cantidad de micro y macronutrientes. (Andreoli, *et al.* 2000)

Para el tratamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua municipal (biosólidos) se recomienda un proceso de secado y de estabilización, dependiendo del proceso utilizado puede identificarse su destino o uso posterior que puede ser como material de cobertura para los rellenos sanitarios hasta su utilización como mejorador de suelo. El propósito de la estabilización de lodos es minimizar complicaciones subsecuentes debido a la degradación de los componentes orgánicos que contienen. Dentro de los procesos de estabilización recomendados por la EPA, se encuentra el composteo mezclado con otros materiales orgánicos para dar como resultado un material estable y de alto contenido de nutrientes. La calidad y cantidad de los biosólidos provenientes de plantas de tratamiento depende de la calidad del agua residual y tipo de tratamiento utilizado. Altos niveles de tratamiento de agua residual pueden incrementar la cantidad y concentraciones de contaminantes, porque muchos de los constituyentes removidos del agua residual terminan en los biosólidos (EPA, 1999; EPA, 1995; EPA, 1996; Mitchell, 1992). La EPA en el 2000 recomendó como métodos de composteo de biosólidos, las trincheras, las pilas estáticas aireadas y el confinado (in-vessel). Hassouneh *et al.* en 1999 realizaron un estudio para comparar dos sistemas de composteo (pilas estáticas aireadas y trincheras) para dar tratamiento a lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residual en Jordania, los resultados mostraron que ambos sistemas son eficientes y que solucionan el problema de manejo y altos costos de disposición de lodos sin tratamiento.

Los biosólidos y residuos municipales contienen metales pesados que pueden ser transportados de los suelos hacia las plantas, animales, agua superficial y subterránea si son depositados sin tratamiento al suelo. Las distribuciones químicas del cobre, zinc, cromo, plomo y níquel fueron determinadas por ocho extracciones de materiales muestreados en los días 0, 13, 27 y 41, por Pare *et al.* (1999), donde las concentraciones de zinc, cromo, cobre y plomo residuales se incrementaron de manera considerable durante el periodo de composteo. Estos resultados muestran que el composteo redujo sustancialmente las posibilidades de extracción y de intercambio de cuatro de seis metales pesados, sugiriendo que el riesgo de que entren a cadenas alimenticias y contaminar cosechas, animales y reservas de agua son igualmente reducidas. Al aparecer trazas de metales pesados residuales, muestra que estos se encuentran fuertemente enlazados químicamente. Lo anterior fue comprobado también por Hsu (2000)

quien realizó un experimento para determinar la capacidad de extracción del cobre, manganeso y zinc en excremento crudo de cerdo y con un tratamiento de composteo, mostrando como resultado que en el material composteado, el potencial de lixiviación de metales pesados disminuye considerablemente en comparación con el material crudo. Sin embargo, es importante mencionar que las composta hechas a partir de residuos mezclados pueden acarrear al suelo cantidades de metales pesados presentes en residuos sólidos como baterías, pilas, lámparas incandescentes rotas, pinturas, productos de limpieza, envases de productos químicos usados, y que en pequeñas concentraciones pueden traer efectos negativos para el crecimiento de las plantas, organismos del suelo, la calidad del agua y la salud humana. Esta es la razón principal por la cual es necesario realizar una separación de los residuos orgánicos del resto de los demás residuos sólidos municipales. (Woodbury, 1992)

En México, la mayoría de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Agua Residual no son tratados de manera adecuada, es por esta razón que actualmente se está desarrollando el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-ECOL-2001 que marcará los lineamientos para el tratamiento de estos lodos que pueden llegar a ser un factor importante de contaminación del suelo y subsuelo. Actualmente, en el Distrito Federal se encuentran en operación 23 Plantas Tratadoras que atienden 6486 litros por segundo, derivado de esta operación, se estima que se generan 978,565 m³ por año. (GDF-UNAM, 2002)

I.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- a) Evaluar tres tipos diferentes de aceleradores para la elaboración de composta; uno comercial, uno preparado comúnmente en la agricultura orgánica llamado "Agroplus" y lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de agua residual (biosólidos).

OBJETIVOS PARTICULARES

- a) Conocer la velocidad de composteo con los tres catalizadores.
- b) Determinar la eficiencia de degradación de los sustratos utilizados.
- c) Determinar costos de producción de cada composta con los distintos catalizadores.
- d) Elaboración de cuatro compostas en tres repeticiones.
- e) Preparación y adición de los aceleradores a las compostas.
- f) Medición diaria de los parámetros temperatura, acidez y color de las compostas.
- g) Evaluar el composteo de biosólidos como una opción de tratamiento para este tipo de materiales.

I.4 HIPOTESIS

- a) Las compostas elaboradas con el producto químico y las elaboradas con el producto llamado "Agroplus" presentaran comportamientos similares durante el proceso de composteo, como son: el tiempo del proceso, las variaciones de temperatura y temperatura máxima alcanzada durante el proceso y variaciones del pH.
- b) La composta sin tratamiento alguno (control) será la última en completar el proceso de composteo con algunos días de diferencia.
- c) En general, las compostas al final del proceso, habrán reducido su volumen hasta en un 45%, su pH estará cercano a 7, su color será uniforme y oscuro, habrá desaparecido el olor, y la temperatura no tendrá variaciones significativas.

CAPITULO II. METODOLOGIA

La totalidad del estudio se realizó en las instalaciones de la Planta Municipal para Elaboración de Composta "Tlalcalli, La Casa De La Tierra" de H. Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli.

El estudio constó de tres fases donde se utilizaron los mismos materiales y proporciones para cada repetición, también se realizaron las mediciones de los parámetros como se mencionará más adelante. Cada fase duró 60 días que abarcaba desde el día cero o inicio, cuando se elaboraron las pilas del material a compostear, hasta el día 60 cuando la composta se dio por terminada.

II.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Cuautitlán Izcalli se ubica al Norte del Estado de México en las coordenadas 19° 40' 50" de la latitud Norte y a los 99° 12' 25" de longitud Oeste. Tiene una extensión territorial de 109.9 km² por lo que representa el 0.5% de la superficie del estado. La población que radica en este municipio, según estimaciones para el año 2000, fue de 724,635 habitantes, que habitan en 17 fraccionamientos urbanos, 37 colonias urbanas, 8 fraccionamientos habitacionales urbanos, 27 unidades de condominios, 12 ejidos y 13 pueblos (Zuani y Domínguez, 1999). En 1997, se estimaba que se generaban 141,103 toneladas de residuos al año con una generación *per capita* de 0.9878 Kg./habitante/día (SEMARNAP/INE. (1997). De lo anterior, se estima que la producción diaria de residuos es considerable.

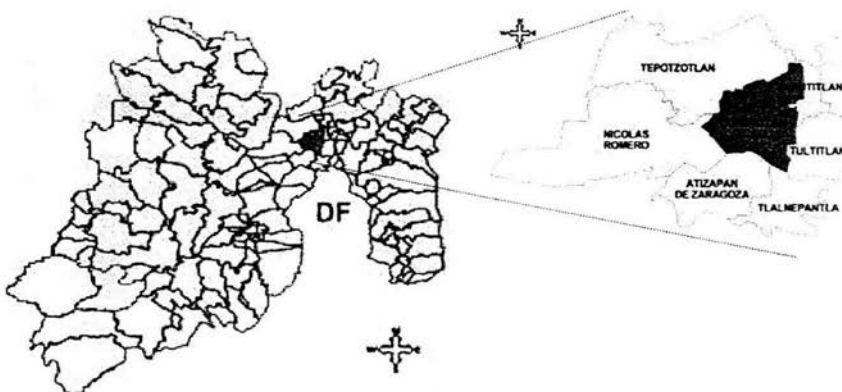


Figura 9. Mapa de localización del Municipio de Cuautitlán Izcalli

Es importante señalar que en el territorio oriente de este municipio se localizan 5 zonas industriales. Los giros industriales más sobresalientes en estas zonas industriales son: alimentos, farmacéutico, textil, automotriz e industria química.

La Planta Municipal para Elaboración de Composta "Tlalcalli, La Casa De La Tierra" de H. Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli funciona desde noviembre de 1998 y se encuentra en un predio municipal de 1,382 m² ubicado en el parque industrial Cuamatla. Este predio cuenta con servicios de agua y energía eléctrica.



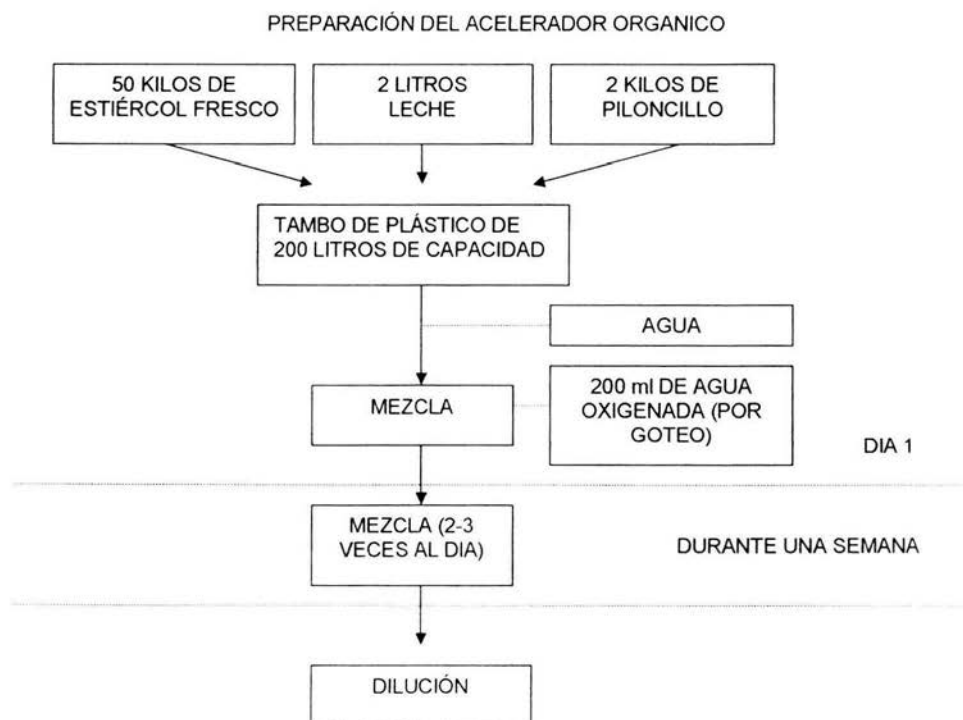
Figura 10. Planta de elaboración de composta "TLALCALLI", Cuautitlán Izcalli, Estado de México

II.2 PREPARACIÓN DE ACELERADOR ORGÁNICO “AGROPLUS”

Para la preparación del acelerador orgánico, se siguió la metodología descrita por Restrepo, en 1998.

En un tambor de 200 L, se depositaron 50 Kg. de estiércol vacuno fresco, 2 litros de leche, 2 Kg. de piloncillo y 100 ml de agua oxigenada mediante goteo constante, posteriormente se llenó el tambo hasta su capacidad y se mezcló constantemente, los siguientes días se mezcló de dos a tres veces por día, el tambo fue colocado en un lugar con sombra y tapado únicamente con plástico. Al transcurrir una semana, se diluyó el contenido del tambo en diez partes de agua por una parte del contenido (10:1), a esta mezcla y proporción se le llamó AGROPLUS

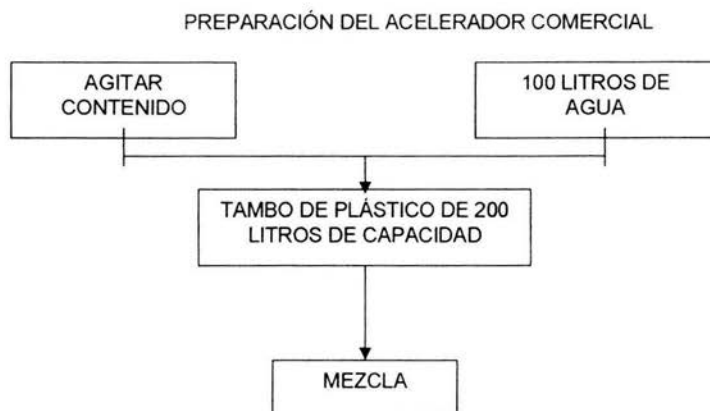
Este acelerador orgánico es elaborado frecuentemente en prácticas de agricultura orgánica. (Restrepo, 1998; Amigos Unidos del Medio Ambiente, 1998)



II.3 PREPARACIÓN DEL ACELERADOR COMERCIAL

Para la preparación del acelerador comercial llamado comercialmente MICROSOIL®, se siguieron las recomendaciones del fabricante.

1. Se agitó el contenido en el envase antes de usarlo.
2. Se mezcló un litro de la sustancia en 100 litros de agua en recipiente de plástico.



II.4 OBTENCIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES.

Los lodos residuales fueron obtenidos de la planta de tratamiento de agua residual del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México. Esta planta realiza el tratamiento del agua residual proveniente de la institución y es considerada como de alta eficiencia ya que utiliza un proceso electroquímico, este tratamiento elimina nitratos, nitritos y óxidos de nitrógeno del agua que previamente es captada en piletas que contienen placas de acero que forma celdas electroquímicas en las que se aplica corriente eléctrica y se da la flotación de los lodos residuales en consecuencia

La composición general del agua residual municipal es bien conocida, para propósitos de manejo de calidad de agua, los contaminantes en el agua pueden ser clasificados en las siguientes categorías:

- Materia Orgánica
- Microorganismos
- Nutrientes
- Contaminantes tóxicos
- Minerales disueltos

Como se mencionó anteriormente, las cantidades exactas de estas categorías presentes en el agua residual, varían de acuerdo a la comunidad, región y tipo de tratamiento.

II.5 PREPARACIÓN DE PILAS DE COMPOSTA Y ADICION DE ACELERADORES

El residuo orgánico utilizado para la elaboración de las pilas consistió en cáscaras de naranja provenientes de locales comerciales dedicados a la venta de jugos, pasto seco y ramas trituradas provenientes del mantenimiento de los parques y jardines municipales y estiércol de vaca provenientes de un rancho cercano.



Figura 11. Descarga de estiércol y residuos orgánicos

Se realizaron cuatro compostas en tres repeticiones donde; **composta 1** fue el CONTROL, **composta 2** le fue adicionado de forma diluida el producto químico acelerador de composta, **composta 3** le fueron adicionados BIOSÓLIDOS, provenientes de una planta de tratamiento de agua residual y **composta 4** le fue adicionado de forma diluida, el acelerador orgánico llamado AGROPLUS.

Cada composta se realizó de la siguiente manera para **composta 1**, **composta 2** y **composta 4** en un área de 4.3 m de largo X 2.4 m de ancho: (1) se colocó una capa inicial de 100 Kg. de pasto seco, (2) una capa de 11 Kg. de rama triturada, (3) una capa de 300 Kg. de cáscara de naranja, (4) una capa de 700 Kg. de estiércol, y (5) 100 Kg. de pasto seco como capa final como se muestra en la figura 1; para **composta 3**, se adicionó además 100 Kg. de biosólidos (lodos residual) entre la capa de cáscara de naranja (2) y estiércol (3), como se muestra en figura 13. Las compostas tenían un peso total de 1,211 Kg.

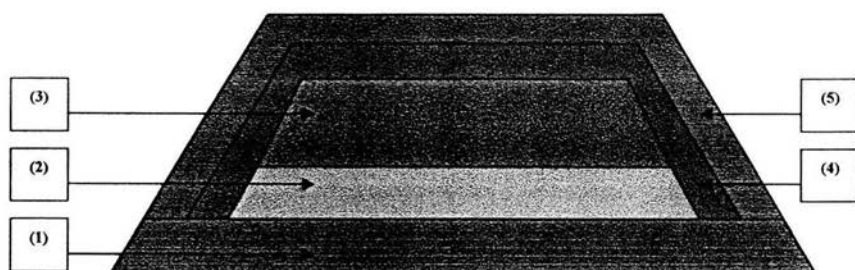


Figura 12. Diagrama de elaboración de **compostas 1, 2 y 4**

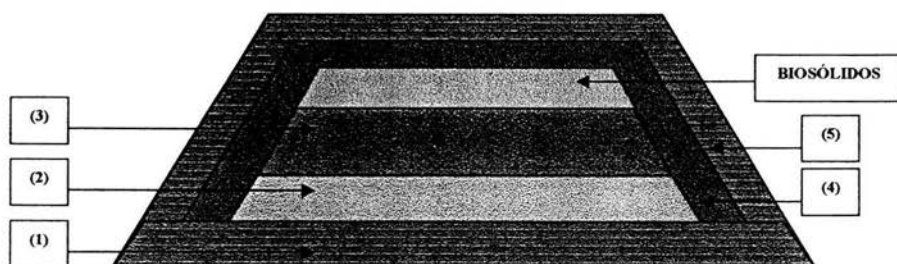


Figura 13. Diagrama de elaboración de **composta 3**



Figura 14. Preparación del área para elaboración de pilas de composta



Figura 15. Elaboración de pila de composta, colocación de estiércol

Una vez terminadas las compostas, se regaron abundantemente; para **composta 1** se utilizaron 200 litros de agua, para **composta 2** se utilizó 1 litro del compuesto comercial diluido en 200 litros de agua, para **composta 3** se utilizaron 200 litros de agua y para **composta 4** se utilizaron 200 litros de AGROPLUS. El proceso de composteo debe tener un porcentaje de humedad entre 40 y 70% para mantener los procesos microbiológicos que favorecen a la degradación de los materiales orgánicos, si se excede este rango puede ocasionar que los

espacios intersticiales se llenen de agua, evitando la transferencia de los gases y provocando anaerobiosis, situación que favorece la generación de metano y malos olores además de algunos compuestos fitotóxicos. (Rynk , 2001)

Posteriormente se colocaron letreros para identificar cada composta y se cubrieron con hule de invernadero, para favorecer las condiciones de humedad y temperatura.



Figura 16. Pilas de composta terminadas

II.6 MEDICIÓN DE PARÁMETROS

Durante el periodo experimental, los parámetros de temperatura, pH y humedad se registraron en bitácora, para cada una de las pilas de composta.

- Temperatura. Se determinó la temperatura de las compostas mediante un termómetro de carátula con vástago de 40 cm. Se realizó la medición a cada una de las cuatro caras laterales de cada pila, y se obtuvo un promedio.
- Acidez ó pH. Se tomaron tres muestras de la pila en un vaso de precipitado que se diluyó en agua destilada y mediante un potenciómetro, se obtuvo esta medición.
- Color. Esta determinación fue cualitativa y siempre realizada por el mismo observador. Se anotó en las bitácoras el color que presentaba el material al inicio del proceso de compostaje, así como los cambios de color que se fueron presentando durante las etapas subsecuentes, como un indicador más del grado del proceso.

- Humedad. Se utilizó el método conocido como "Fist Test" o Método del puño. Este método no es cuantitativo, sin embargo es utilizado de manera muy frecuente ya que de manera sencilla muestra una aproximación de las condiciones de humedad de las compostas, este método es recomendado en plantas de composteo donde no se cuenta con instalaciones ni equipo para mediciones exactas. El método consiste en tomar un puño de composta y apretar, de lo cual se pueden derivar tres situaciones:
 1. Si al apretar el puño de la composta escurre agua, entonces tiene exceso de humedad, y durante el experimento se le asignó a esta situación el numero uno (**1**)
 2. Si al apretar el puño la composta se compacta y se apelmaza, entonces tiene un porcentaje adecuado de humedad. A esta situación se le asignó el numero cero (**0**)
 3. Si al apretar el puño, la composta se compacta pero se fracciona o se agrieta, entonces la humedad no es suficiente. A esta situación se le asignó el numero menos uno (**-1**)(Hermann, 2001; Rynk, 2000)

Se determinaron estos parámetros, ya que son los más representativos para conocer el estado de óptima maduración de una composta, como fue determinado por Fariás *et.al*, (1999), y mencionado por Goldstein (1999), donde coincide con los parámetros como indicadores adecuados para esta propiedad de la composta.

II.7 VOLTEO DE LAS PILAS DE COMPOSTA DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTEO

Se realizaron volteos al material para reducir la temperatura y reoxigenar el material dentro de la pila de composteo.

Insam, *et al.* (1996), diseñaron un estudio para detectar los cambios en las habilidades funcionales de la microflora durante el composteo de estiércol, distinguieron que el volteo frecuente favorece la acción de los microorganismos y por lo tanto, favorece también a la degradación de la materia orgánica dentro de la pila de composteo. Lo mismo es mencionado por Powers *et al.* en el 2000, donde sugiere tener especial atención en los volteos.

Por esta razón, es recomendable realizar los volteos necesarios para reoxigenar los procesos biológicos.

Los volteos a las pilas de composta se realizaron de forma manual y fueron realizados tres días después de registrar una temperatura mayor a 50° C en el interior, esto conforme la metodología que es llevada a cabo en la planta municipal de elaboración de composta. (Vulling, 1998)



Figura 17. Presencia de microorganismos en el interior de la composta, durante volteo del material



Figura 18. Volteo manual de composta

La EPA en 1999, recomendó mantener la temperatura a 40° C o más por un periodo de cuatro días; durante el último día de este periodo de cuatro días, la composta deberá mantener por cuatro horas una temperatura mayor a 55° C; a este método se le nombra **Proceso para la Reducción Significativa de Patógenos** (Process to Significantly Reduce Pathogens, PSRP)

Este periodo de temperatura permite la destrucción de patógenos presentes en la mezcla de los materiales como se muestra en la siguiente tabla tomada de Tchobanoglous *et al.* (1993).

TABLA 1. TEMPERATURA Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN REQUERIDA PARA LA DESTRUCCIÓN DE ALGUNOS PATÓGENOS Y PARASITOS COMUNES

ORGANISMOS	OBSERVACIONES
<i>Salmonella typhosa</i>	No crece en temperaturas mayores a 46° C; muere en 30 minutos a 55-60° C y en 20 minutos a 60° C; destruido en poco tiempo en condiciones de composteo.
<i>Salmonella sp.</i>	Muere en 1 hora a 55° C y en 15-20 minutos a 60° C.
<i>Shigella sp.</i>	Muere en 1 hora a 55° C.
<i>Escherichia coli</i>	Muere en 1 hora a 55° C y en 15-20 minutos a 60° C.
<i>Entamoeba histolytica cysts</i>	Muere en pocos minutos a 45° C y en pocos segundos a 55° C.
<i>Tenia saginata</i>	Muere en pocos minutos a 55° C.

<i>Trichinella spiralis</i> (larva)	Muere rápidamente a 55° C; muere instantáneamente a 60° C.
<i>Brucella abortus</i> o <i>Br. suis</i>	Muere en 3 minutos a 62-63° C y en 1 hora a 55° C.
<i>Micrococcus pyogenes</i> var. <i>aureus</i>	Muere en 10 minutos a 50° C.
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Muere en 10 minutos a 54° C.
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> var. <i>hominis</i>	Muere en 15-20 minutos a 66° C.
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Muere en 45 minutos a 55° C.
<i>Necator americanus</i>	Muere en 50 minutos a 45° C.
<i>Ascaris lumbricoides</i> (huevos)	Mueren en menos de 1 hora a temperaturas mayores a 50° C.



Figura 19. Temperatura registrada durante el proceso de composteo

No llevar a cabo estas recomendaciones para la eliminación de patógenos puede dar como resultado una composta de mala calidad que puede ser un vector de microorganismos y provocar afectaciones a la salud pública. Coiné en el año 2000, realizó un experimento para determinar la persistencia de *Echerichia coli* O157:H7, un patógeno de alto riesgo para el humano, y *E. coli* no patógeno (coliformes fecales), que se utiliza como indicador de contaminación fecal en el suelo; los resultados muestran un periodo hasta de ocho semanas donde las colonias bacterianas sobrevivieron y pueden considerarse aún un problema de salud pública.

CAPITULO III. RESULTADOS

Los resultados se presentarán de acuerdo a los parámetros monitoreados durante el experimento.

TEMPERATURA

Las figuras 20,21 y 22 muestran los resultados de la medición de la temperatura durante las tres repeticiones del experimento.

Como se puede observar en las figuras, la temperatura tuvo variaciones durante el proceso, primero se eleva rápidamente los primeros días de monitoreo, esto debido a la creciente actividad bacteriana que comienza con la degradación de la materia orgánica y que presenta un aumento en sus poblaciones. También se puede observar descensos abruptos de la temperatura durante los experimentos, esto muestra el momento en que fueron volteadas las pilas para su reoxigenación; durante las etapas finales del proceso de composteo se observa que la temperatura desciende gradualmente y que con dificultad alcanza temperaturas mayores a 50° C, lo cual es un indicador que la actividad bacteriana ha disminuido y que los materiales que componían las pilas de composteo se han degradado, como lo demostraron Hermann y Shann (1997), mediante un experimento donde utilizaron un análisis de ácidos fosfolípidos para encontrar la relación entre las poblaciones de microorganismos y los diferentes estadios del composteo de residuos sólidos.

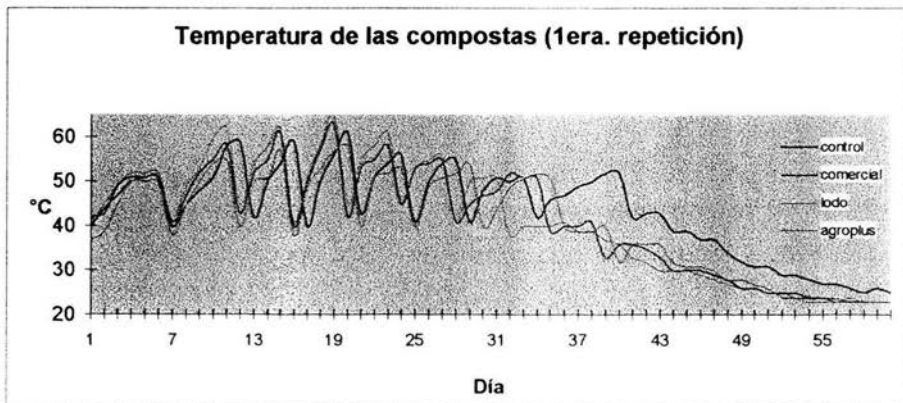


FIGURA 20

Temperatura de las compostas (2da. repetición)

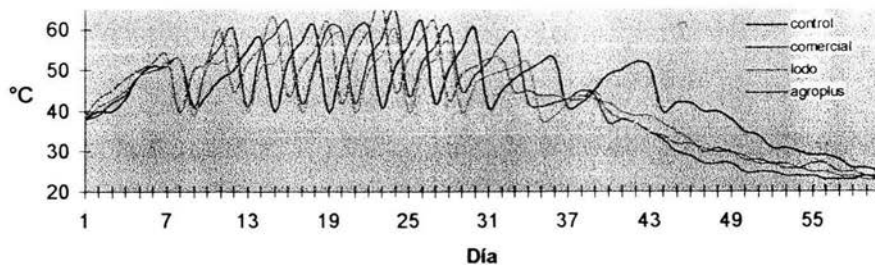


FIGURA 21

Temperatura de las compostas (3ra. repetición)

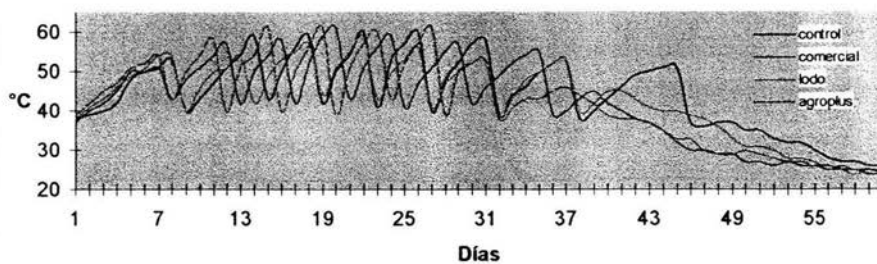


FIGURA 22

TEMPERATURA

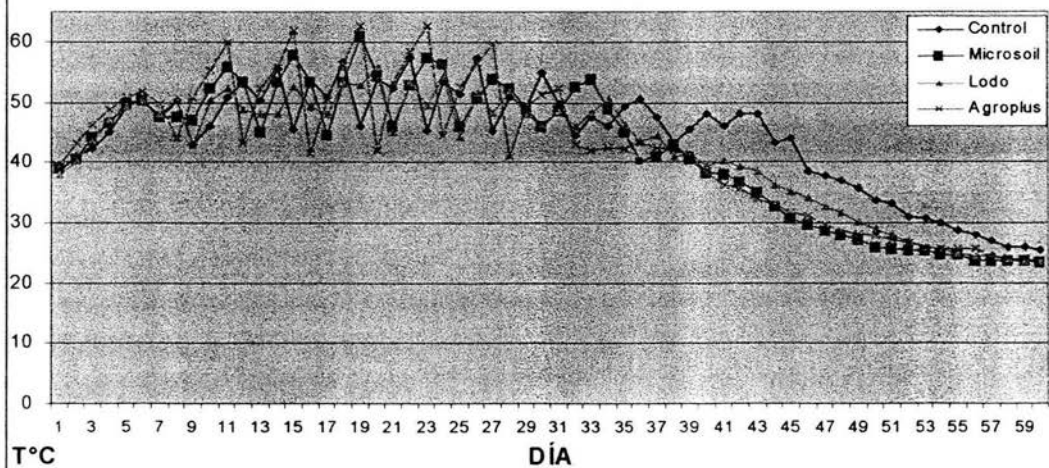


Figura 23.

La etapa mesofílica (<40-45° C) fue rápida en todas las pilas tardando como máximo 48 horas, después de este tiempo la temperatura se elevó hasta la etapa termofílica registrándose ésta durante periodos de 1 a 2 semanas con máximos de temperatura de 60-67° C; las mayores temperaturas se registraron en las compostas **4** (67° C) y **2** (65° C). Durante esta fase, se observaron algunas caídas de temperatura producto del volteo, la temperatura se recuperaba al siguiente día, después de voltear y cubrir los materiales. Todas las compostas mantuvieron durante 96 horas temperaturas mayores a 40° C, como lo recomienda la EPA para el Proceso para la Reducción Significativa de Patógenos (Process to Significantly Reduce Pathogens, PSRP)

La fase de enfriamiento inició con el descenso gradual de la temperatura en todas las pilas, debido a la baja actividad microbiana como consecuencia de la falta de sustrato de fácil asimilación, finalizando cuando las temperaturas de las pilas se aproximaron a la del ambiente y ya no tuvieron variaciones significativas, (día 60, temperatura entre 23-26° C), como lo menciona Sauri *et al.* en el 2000, cuando realizaron la evaluación del composteo para dar tratamiento a residuos de frutas, en este estudio, la temperatura tuvo un comportamiento similar al reportado en este trabajo.

En las tres repeticiones se puede apreciar que las **compostas 4** (AGROPLUS) estabilizaron su temperatura en menor tiempo comparado con las demás, seguida por las **compostas 2** (COMERCIAL), y las **compostas 3** (BIOSÓLIDOS), por último las **compostas 1** (CONTROL) fueron las que más tiempo tardaron en estabilizar su temperatura además que necesitaron de siete volteos mientras que las demás compostas, necesitaron únicamente seis.

El pH

Las figuras 24, 25 y 26 muestran las variaciones del pH durante el proceso de composteo en las tres repeticiones.

El pH registrado para las compostas **1, 2 y 4** al inicio del proceso fue entre 5.3 y 5.5, mientras que para la composta **3**, se registró mayor a 6, esto debido probablemente a que esta estaba compuesta además con biosólidos, lo cual modificó su pH con respecto a las demás.

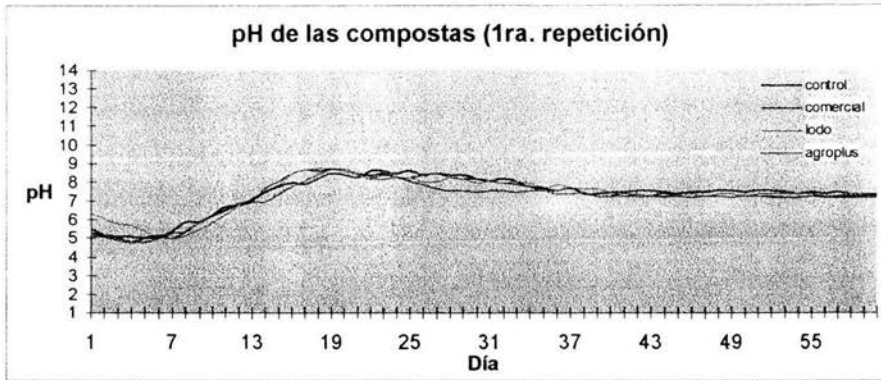


Figura 24

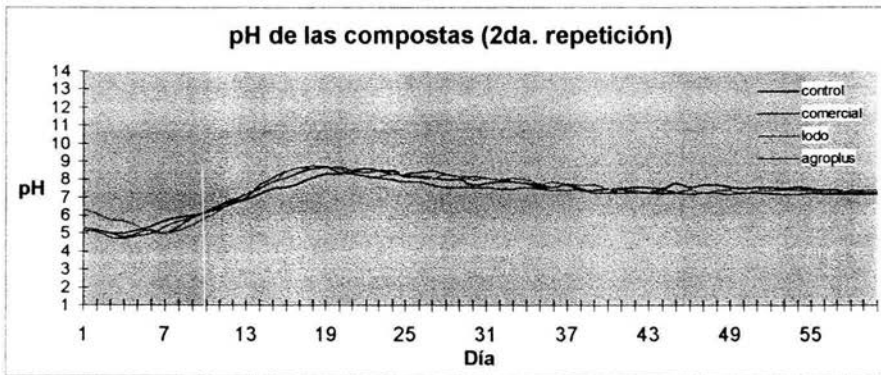


Figura 25

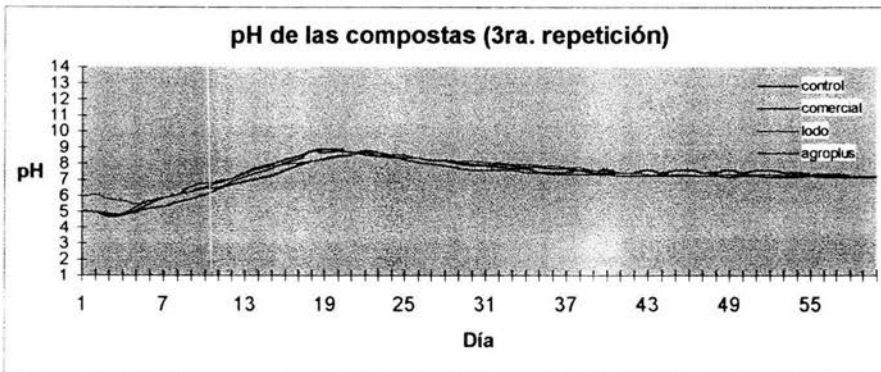


Figura 26

En todas las compostas, el pH bajó un poco durante los primeros días, sin embargo coincidiendo con la fase termofílica se aproximó a 9 para después descender nuevamente en las etapas finales y alcanzar pH cercanos al neutro (7.4-7.2). Aunque la **composta 3** tuvo un

pH inicial mas bajo a comparación que las demás, al final del proceso tuvo el mismo comportamiento.

El Color

Todas las compostas tuvieron el mismo comportamiento en cuanto a cambios de color de los materiales. Inicialmente y por la composición de las mismas, los colores que presentaban eran mixtos y conforme fue avanzando el proceso, empezó a homogeneizarse el color hasta tener un color oscuro y uniforme para todas las pilas de composteo.

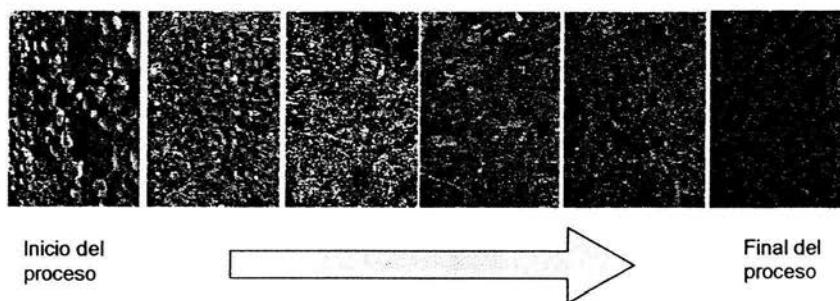


Figura 26. Representación de los colores durante el proceso de composteo.





Figura 27. Composta inicial (a) y composta final (b)

Otra observación importante durante el composteo de estos materiales fue la presencia de gran variedad de artrópodos. La presencia de éstos organismo es benéfica para la degradación de los materiales, ya que a través de su actividad contribuyen a la reoxigenación de los materiales, además cómo fue determinado por Persson en 1989, en un estudio donde evaluaron algunos materiales composteados con dos temperaturas y tres niveles de humedad. La acción de los artrópodos para la minealización del nitrógeno y carbono sólo fue dependiente de la temperatura y no de la humedad, es decir, los organismos tienen un efecto mayor en la mineralización en condiciones secas o húmedas, lo que puede representar una ventaja ya que en condiciones secas la microflora es inactiva.

Costos de Elaboración

Las compostas tuvieron costos de elaboración distintos por los materiales extras que fueron requeridos. En el caso de **compostas 1** (CONTROL), no se tuvieron costos extras. En **compostas 2** (MICROSOIL) el costo de elaboración se incrementó ya que fue necesaria la adquisición de una botella con este compuesto. El precio de una botella de un litro de este compuesto es de setecientos pesos (\$700.00) y se puede diluir en 200 litros de agua. En **compostas 3** (BIOSOLIDOS) el costo de elaboración no incrementó a pesar del transporte de los lodos, ya que este fue realizado con el apoyo de un vehículo de la Planta de Tratamiento y el volumen no era considerable. Para las **compostas 4** (AGROPLUS) el costo no incrementó de manera significativa ya que la preparación de 200 litros costó alrededor de cuarenta pesos (\$40.00).

A continuación se presentan los costos de elaboración:

	COMPOSTA 1	COMPOSTA 2	COMPOSTA 3	COMPOSTA 4
COSTO DE ELABORACIÓN	NINGUNO	\$ 700.00	NINGUNO	\$ 40.00
MATERIALES UTILIZADOS	Los de uso común en la Planta	Una botella de un litro de compuesto químico	Lodos residuales	200 litros de preparado.

IZT.



CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos fueron analizados estadísticamente a través de una ANOVA de un factor tomando en consideración los días finales del proceso de composteo, con el propósito de conocer si existía diferencia entre los cuatro procesos utilizados. A través de este análisis, se encontraron diferencias entre los tratamientos, ya que fue rechazada la hipótesis nula que postulaba que no había diferencia entre estos. (Ver Anexo)

ANOVA de un factor (Por días finales al composteo)								
CONTROL		MICROSOIL		LODOS		AGROPLUS		
DIAS	(DIAS) ²	DIAS	(DIAS) ²	DIAS	(DIAS) ²	DIAS	(DIAS) ²	
41	1681	35	1225	36	1296	32	1024	
44	1936	34	1156	35	1225	33	1089	
46	2116	36	1296	38	1444	32	1024	
Exi.	131	5733	105	3677	109	3965	97	3137
\bar{x}	43.666'		35		36.333'		32.333'	
S²	2.5166		1		1.5275		0.5773	

$X_{..} = 442$

$a = 4$

$n = 3$

$Enj = 12$

H₀ = Todos los tratamientos son iguales

H_a = Al menos uno de los tratamientos es diferente

FUENTE	g. l.	SC	CM	F calculada	F tablas (0.05)	F tablas (0.01)
Muestras	3	211.66667	70.5555	28.2222	4.07	7.59
Error	8	20	2.5			
Total	11	231.66667				

CV = 4.292%

Considerando que si $F \text{ calculada} \geq F_{\alpha}$ se rechaza H_0 y acepta H_a

Posteriormente se aplicó *T-Student* para saber que tratamientos difieren de otros. Con este análisis se encontraron diferencias entre los tratamientos y el control. Esto también se pudo observar durante el desarrollo del experimento, ya que mientras que los tratamientos tuvieron que ser volteados seis veces, los controles requirieron de un volteo más, lo que implica la inversión de horas-hombre, lo cual puede ser decisivo en una planta en operación. (Ver Anexo)

Juego de comparaciones.

$$C1: \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3}{3} = \frac{x1. + x2. + x3.}{3n} - \frac{x4.}{n}$$

$$C2: \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{2} = \frac{x1. + x2.}{2n} - \frac{x3.}{n}$$

$$C3: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = \frac{x1.}{n} - \frac{x2.}{n}$$

Cálculo de Diferencia Mínima Significativa (DMS), considerando que:

- $D_{|x1-x2|} \geq DMS$ = estadísticamente distintos
- $D_{|x1-x2|} < DMS$ = iguales

C1:

$$DMS = t_{0,05} = \mathbf{2.4307}$$

$$t_{0,01} = \mathbf{3.536480}$$

C1= **6** entonces, $D = 6 > DMS = 2.4307_{(0,05)}$ y $3.53_{(0,01)}$, por lo tanto, es distinto.

C2:

$$DMS = t_{0,05} = \mathbf{2.57814}$$

$$t_{0,01} = \mathbf{3.7510}$$

C2= **5** entonces, $D = 5 > DMS = 2.578_{(0,05)}$ y $3.751_{(0,01)}$ por lo tanto, es distinto.

C3:

$$DMS = t_{0,05} = \mathbf{2.977033}$$

$$t_{0,01} = \mathbf{4.331286}$$

C3= **7.333'** entonces, $D = 7.333' > DMS = 2.97_{(0,05)}$ y 4.33 por lo tanto, es distinto.

Todos son distintos al CONTROL

Finalmente, se aplicó la *Prueba de Tukey* para conocer la diferencia entre los tratamientos. Este análisis mostró que:

- Los tratamientos tuvieron diferencias significativas comparándolos con el control.
- Entre tratamientos no existieron diferencias significativas.
- El tratamiento con AGROPLUS fue el que tuvo una diferencia altamente significativa con respecto al control, en comparación con los demás tratamientos. (Ver Anexo)

W ($\alpha_{0.01}=5.9598$; $\alpha_{0.05}= 4.135305$). Considerando que:

- Media $\geq W$ = diferencia significativa
- Media $< W$ = no significativa.

- 1.- **Control – Biosólidos** = 7.3333' > W Significativa
- 2.- **Control – Microsoil** = 8.6666' > W Significativa
- 3.- **Control – Agroplus** = 11.333' > W Altamente significativa
- 4.- **Biosólidos – Microsoil** = 1.3333' < W No Significativa
- 5.- **Biosólidos – Agroplus** = 4 < W No Significativa
- 6.- **Microsoil – Agroplus** = 2.6666' < W No Significativa

Promedios Decreciente	CONTROL - \bar{x} 1	BIOSÓLIDOS - \bar{x} 2	MICROSOIL - \bar{x} 3	AGROPLUS - \bar{x} 4
Promedios Ascendente	43.6666'	36.3333'	35	32.333'
\bar{x} 4 = 32.333'	11.333'	4	2.6666'	0
\bar{x} 3 = 35	8.666'	1.3333'	0	
\bar{x} 2 = 36.3333'	7.333'	0		
\bar{x} 1 = 43.6666'	0			

$W \alpha_{0.01} = 5.958$
 $W \alpha_{0.05} = 4.135$

CAPITULO V. DISCUSIÓN

Los tratamientos tuvieron diferencias comparados con el control, ya que requirieron de un volteo menos para su estabilización. Esta diferencia puede ser de mucha utilidad en Plantas de Tratamiento de Residuos Orgánicos donde se busca optimizar los tiempos, las horas-hombre y las áreas destinadas al composteo, por lo que sería conveniente adoptar un tratamiento para acelerar los procesos de degradación, tomando en consideración los recursos presentes en cada sitio.

A pesar de que estadísticamente no existieron diferencias considerables entre los tiempos que requirieron los tratamientos para la aceleración del composteo, si consideramos desde distintos puntos de vista, podemos encontrar algunas diferencias que no pueden ser descritas por medios estadísticos.

ASPECTOS ECONÓMICOS

Los tratamientos utilizados tuvieron diferencias en los costos de elaboración. En este estudio, los tratamientos menos costosos fueron **BIOSOLIDOS** y **AGROPLUS**. En **BIOSÓLIDOS** se tuvo el apoyo de la Plata de Tratamiento de Agua Residual y no represento un costo extra, sin embargo, para adicionar volúmenes considerables de Lodos a los procesos de composteo, un factor a considerar será el transporte de grandes cantidades de lodos, lo que podría incrementar los costos de elaboración de manera considerable.

El tratamiento con **AGROPLUS** tuvo un costo de \$40.00 por la adquisición de los materiales para la elaboración del preparado. Además, si se deja un poco de esta sustancia en el fondo del tambo y se agrega más agua, al cabo de una semana se tendrá nuevamente el preparado para su adición. (Restrepo, 1998)

Los costos bajos de elaboración es un factor importante a considerar en las Plantas de Tratamiento de Residuos por lo que se puede concluir que el **AGROPLUS** tiene el costo más bajo y la misma eficiencia que los demás tratamientos.

ASPECTOS AMBIENTALES

Si consideramos que el volumen de biosólidos generados anualmente por trabajos de mantenimiento de plantas de tratamiento de agua es considerable y que en ocasiones son depositados en sitios no adecuados, el tratamiento de la materia orgánica a través del

composteo aeróbico utilizando lodos como acelerador, puede ser una excelente opción de tratamiento para ambos residuos, además de optimizar el tiempo de tratamiento en las Plantas de Tratamiento de residuos orgánicos y disminuir los posibles impactos adversos del depósito sin control en sitios no aptos.

ASPECTOS TÉCNICOS

La adición de BIOSOLIDOS a los procesos de composteo, debe ser estrictamente monitoreada para evitar incluir sustancias tóxicas a los procesos, por lo que es necesario realizar muestreos y análisis a los lodos para conocer su composición y evitar transportar sustancias tóxicas o peligrosas a los suelos.

La adición de AGROPLUS no tiene riesgos para los procesos de composteo, ni para adiciones del material final al suelo.

El composteo de BIOSOLIDOS mezclados con otros materiales orgánicos puede ser una opción a muy bajo costo para el tratamiento de ambos residuos, siempre y cuando se observen algunas consideraciones ambientales y sanitarias.

Por todo lo anterior, podemos concluir que la utilización del tratamiento **AGROPLUS** es la mejor opción como un aditivo para el composteo aeróbicos de los residuos orgánicos, ya que contribuye a la aceleración de los procesos de composteo, no representa un costo elevado su utilización, es ambientalmente seguro ya que esta elaborado a partir de residuos orgánicos y no existen riesgos ambientales por su utilización.

Por otra parte, es importante hacer hincapié en la importancia que tiene el realizar una recolección separada de residuos orgánicos e inorgánicos para evitar que otras materias distintas a las orgánicas estén presentes en el proceso de composteo, ya que pueden afectar la calidad de la composta al presentarse niveles altos de metales pesados, altas proporciones de materiales inertes, entre otros. Lo anterior fue mencionado por Madrid *et al.* en el 2001, durante una caracterización a compostas elaboradas a partir de residuos sólidos mezclados en España.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

- Las compostas con tratamiento tuvieron diferencia con las compostas control, en cuanto a la finalización del proceso y al número de volteos.
- Entre los tratamientos utilizados para la aceleración de los procesos de composteo (**AGROPLUS**, **MICROSOIL** y **BIOSÓLIDOS**), no se encontró diferencia significativa, ya que todos contribuyen a la aceleración del proceso de composteo.
- Tomando en consideración los aspectos económicos, ambientales y técnicos, el tratamiento con **AGROPLUS** fue el más recomendable, ya que tiene costos más bajos para su elaboración, es ambientalmente seguro y no requiere de aspectos técnicos relevantes que deban ser considerados para su utilización.
- El composteo de **BIOSOLIDOS** mezclado con residuos orgánicos es una buena opción para el tratamiento de ambos residuos. Aunque deben considerarse algunos aspectos de control para evitar transportar contaminantes al suelo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, H. (2000). "Experiencias de Composteo en el Estado de México" Memorias del Curso Taller de Sensibilización sobre la gestión de los residuos sólidos municipales, municipio de Tianguistenco. SEGEM-GTZ
2. Aleza, F. (2002). "Las tecnologías para el manejo de residuos: El depósito en vertedero (relleno sanitario)." Memorias del Seminario Internacional de Residuos, Ciudad de México.
3. Álvarez, J.D., Ferrera, R y Etchevers-Barra, J.D. (2000). "Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos". *Agrociencia* 34: 523-532
4. Amigos Unidos del Medio Ambiente (1998). "Agroplus" Cartilla de abonos orgánicos, Memorias del 3er.Taller de Agricultura Orgánica. pp. 13
5. Andreoli, C., Pegorini, E. y Gonçalvez, D. (2000). "Processo de implementação da reciclagem agrícola de bio-sólidos em Curitiba, Paraná". *Anales del XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Ambiental. AIDIS-ABES. Porto Alegre, Brasil.*
6. Ayalon, O., Avnimelech, Y. & Shechter, M. (2001) "Solid Waste Treatment as a High-Priority and Low- Cost Alternative for Greenhouse Gas Mitigation" *Environmental Management* 27:697-704
7. Bartone, C. R. (1987) "Gestión, recuperación y reciclaje de los desechos municipales: Estrategia para la autosuficiencia en los países en desarrollo" Banco Mundial; PNUD. Water Supply and Urban Development Department Washington, D.C. pp. 1-10
8. Blinght, G. & Mbande, C. (1996) "Some problems of Waste Management in Developing Countries" *Journal of Solid Waste Technology and Management*, Vol. 23, No.1. pp. 15-24
9. Campos M., Lugo S., & Gitscher U.(1998) "Evaluación de los proyectos de compostaje en el Ecuador". Fundación Natura, REPAMAR, CEPIS & GTZ. pp. 10-12
10. Castillo, A., Gauna, D., Dalurzo, H. Y Fernández, S. (2000) "Cambios en las propiedades físicas del suelo por el uso de enmiendas orgánicas". *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2000*, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. pp. 76-79
11. Corlay, L., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers-Barra, J.D., Echegaray, A. y Santizo, J.A. (1999) "Cinética de grupos microbianos en el proceso de producción de composta y vermicomposta" *Agrociencia* 33: 375-380
12. Cortinas de Nava, C. (2001) "Hacia un México sin Basura, bases e implicaciones de las legislaciones sobre residuos". 1er edición. Talleres Gráficos de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. pp. 25-42
13. Coyne, M.S.(2000) "Mortality of *Escherichia coli* O157:H7 in two soils with different physical and chemical properties" *J. Environ. Qual*, 29:1821-1825
14. Daniel, W.(1977) "Bioestadística" Ed. Limusa, primera reimpresión. pp 283-341

15. Fariás C., D., Ballesteros G., M.I. y Bendeck, M. (1999) "Variación de parámetros fisicoquímicos durante un proceso de compostaje". Rev. Colomb. de Química, Vol. 28, No.1: 27-31
16. Fernandes, F., Batista, G., Galvão de Souza, S. & Pereira da Silva, S. (2001) "Aproveitamento dos resíduos de podas de árvores e capinas do meio urbano para a produção de composto". Memórias del 21º Congreso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Saneamento Ambiental: Desafio para o século 21. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. pp. 14-19
17. Gobierno del Distrito Federal y Universidad Nacional Autónoma de México. (2002) "Programa de Manejo Ambiental de los Residuos provenientes de desazolve del Sistema de Drenaje del Distrito Federal y de las Presas, así como de las Plantas de tratamiento de Aguas Residuales" Tercer informe, Julio de 2002. pp. 39-41
18. Goldstein J. (1999) "What's the difference between compost maturity and compost stability?" Biocycle, Journal of Composting & Organics Recycling, February, pp. 18-19
19. Guerrero C., Gomez, I., Mataix, S.J., Moral, R., Mataix, B.J. y Hernandez, M.T. (2000) "Effect of solid waste compost on microbiological and physical properties of a burn forest soil in field experiments" Biology & Fertility of Soils, Vol. 35, Issue 5, pp. 410-414
20. Hassouneh, O., Jamrah, A. & Qaisi, K. (1999) "Sludge stabilization by composting: a Jordanian case study" Bioprocess Engineering Abstract. Vol.20, Issue 5, pp 413-421
21. Hermann, E. (2001) "Compostaje con Farwick/Komptech Maschinen" Citado durante: Noveno Congreso Internacional de CONIECO, ENVIRO-PRO TECOMEX 2001, Ciudad de México.
22. Herrmann, R. & Shann, J. (1997) "Microbial community changes during the composting of municipal solid wastes" Microb. Ecol. 33:78-85
23. Hsu, J.H. (2000) "Characterization and extractability of copper, manganese, and zinc in swine manure composts" J. Environ. Qual. 29:447-453
24. Insam H, Amor K, Renner M. & Crepez C. (1996). "Changes in functional abilities of the microbial community during composting of manure". Microb. Ecol. 31: 77-87
25. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2000); "Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana". ISBN 970-13-2507-9. pp 167-174
26. JICA y GDF (1999) "Estudio de la situación actual del manejo de los residuos sólidos en la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos, Resumen Ejecutivo" Kokusai Kogyo Co., LTD. pp. 8-28
27. Kolmans E. & Vásquez D. (1996) "Manual de Agricultura Ecológica, una introducción a los principios básicos y su aplicación" MAELA-SIMAS, 1er. ed., Ed. Enlace: pp. 101-104

28. Kostov, O., Tzvetkov, Y., Petkova, G. & Lynch, J.M. (1996) "Aerobic composting of plant wastes and their effect on the yield of ryegrass and tomatoes" *Biology & Fertility of Soils*. Vol. 23, Issue 1. pp 20-25
29. López Moreda, I. (2000) "El asentamiento de un relleno sanitario y su relación con la biodegradación" *Anales del XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Ambiental*. AIDIS-ABES. Porto Alegre, Brasil.
30. Lund, H. (1996) "Manual McGraw-Hill de Reciclaje" Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., Vol. 1. pp. 16.1-16.21
31. Luxmoore, R (1999) "Biosolids enhance forest growth." *Journal of Environmental Quality*. 28:611-619
32. Madrid, F., López R., Cabrera, F. y Murillo J. M. (2001) "Caracterización de los composts de residuos sólidos urbanos de la planta de Villarrasa (Huelva)." *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* Vol. 16 (1) pp.105-117
33. McBean, E. (2002) "Global Warming, Landfills & Opportunities of Revenue Generation" *Memorias del Seminario: Manejo Integral de Residuos Sólidos Municipales*. INE, CENICA, AMCRESPAC, JICA y SUSTENTA, México. Mayo 2002. Formato electrónico.
34. Mitchell, C. (1992) "Using sewage sludge as fertilizer" *Environmental Education Series*. Environmental Quality, Agriculture & Natural Resources. A & M University
35. Morrisette D., Drouin MC. & Golder G. (1997) "Site remediation using biological processes" *Memorias del Seminario Internacional sobre Restauración de Sitios Contaminados*. JICA, México. pp.149-161
36. Pare T, Dinel H. & Schnitzer M.(1999) "Extractability of trace metals during co-composting of biosolids and municipal wastes" *Biology & Fertility of Soils*, Vol. 29, Issue 1, pp. 31-37
37. Pascual, A. García, A. Hernández, T. y Ayusco, M. (1997) "Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes" *Biology & Fertility of Soils*. Vol. 24, Issue 4. pp. 429-434
38. Persson, T. (1989) "Role of soil animal en C and N mineralization" *Plant & Soil*. 115:241-245
39. Power, M., Andrade, F. y Gehling, G. (2000) "Produção de macro e micro nutrientes a través da compostagem de resíduos orgânicos provenientes das podas urbanas codispostos com resíduos da ceasa e lodo de estação de tratamento de esgotos." *Anales del XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Ambiental*. AIDIS-ABES. Porto Alegre, Brasil.
40. Restrepo, J. (1998). "Abonos Orgánicos Fermentados". *Memorias del Taller/Curso de Agricultura Orgánica*. Toluca, Estado de México. pp. 138-151
41. Reyes, P (1987) "Bioestadística Aplicada" Ed. Trillas. 4ta reimpresión. pp 104-128

42. Richard, T.(2001) "Composting as a waste management strategy, new directions-new questions", Viewpoint 2. Cornell Waste Management Institute, Center for the Environment, pp: 1-3
43. Rynk R. (2000) "Monitoring moisture in composting systems". Biocycle, Journal of Composting & Organic Recycling. Vol. 41, No. 10, pp. 53
44. Rynk R. (2001) "Getting moisture into the compost pile". Biocycle, Journal of Composting & Organic Recycling. Vol. 42, No. 6, pp. 51
45. Comisión Ambiental Metropolitana (2001) "Programa para la Prevención y Manejo Integral de los Residuos Peligrosos en la Zona Metropolitana del Valle de México". Versión Preliminar. pp 171-204
46. SEMARNAP/INE. (1997) "Estadísticas e Indicadores de Inversión sobre Residuos Sólidos Municipales en los principales Centros Urbanos de México". 1era edición. Coordinación de Participación Social y Publicaciones del Instituto Nacional de Ecología, México. pp. 21-35
47. SEMARNAP/INE (1998), "Estadísticas del Medio Ambiente, México 1997/ Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente", 1995-1996, INEGI, México: pp. 20
48. Sancho y Cervera J. Rosiles G.(1999) "Situación Actual de los residuos Sólidos en México". Dirección de Residuos Sólidos, Secretaría de Desarrollo Social. citado en: Memorias del Seminario Internacional "Reciclaje y Tratamiento de los Residuos" Agosto 2001
49. Sauri, R. M., Nájera, H. A., Ramírez, J. G. y Mejía, G. M. (2000) "Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación" Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales; ADIS. Congreso Nacional 2000. Ciencia y Conciencia: Compromiso Nacional con el Medio Ambiente. Morelia, pp. 1-8
50. Soliva, M. & Paulet, S. (2001) "Compostaje de residuos orgánicos y aplicación agrícola". Memorias del 5º curso de Ingeniería Ambiental. Aplicación agrícola de residuos orgánicos. Barcelona, España. Abril 2001.
51. Tchobanoglous, G., Theisen, H y Vigil, S. (1993), "Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues" McGraw-Hill International Editions. Vol. II. pp. 770-783
52. U.S. Agency for International Development (1982), "Designing a Composting System". Water of the World, Technical Notes No. SAN 3.D.2. pp 4
53. U.S. Agency for International Development (1982), "Operating and Maintaining a Composting System". Water of the World, Technical Notes No. SAN 3.D.2. pp 1-5
54. U.S. Environmental Protection Agency (1979) "Criteria for Classification of Solid Wastes Disposal Facilities and Practices," Federal Register 44: 179.

55. U.S. Environmental Protection Agency (1995) "A guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA part 503 Rule" Office of Wastewater Management. EPA/832-B-93-005. pp. 31-56
56. U.S. Environmental Protection Agency (1996) "Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production" Committee on the use of Treated Municipal Wastewater Effluents and Sludge in Production of Crops of human Consumption, Water Science and Technology Board & National Research Council. National Academy Press. pp. 40-70
57. U.S. Environmental Protection Agency (1997) "Innovative Uses of Compost". Solid Waste and Emergency Response. EPA530-F-97042. pp.13-97
58. U.S. Environmental Protection Agency (1999) "Biosolids Generation, Use and Disposal in The United States". Solid Waste and Emergency Response. EPA530-R-99-009. pp. 7-22
59. U.S. Environmental Protection Agency (1999) "Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge" Environmental Regulations and Technology. Office of Research and Development. EPA/625/R-92/013. pp 43-50
60. U.S. Environmental Protection Agency (1999) "The effects of composted organic materials on the growth factors for hardwood and softwood tree seedling" Office of Solid Waste and The Forest Service.
61. U.S. Environmental Protection Agency (2000) "In-Vessel Composting of Biosolids". Biosolids Technology Fact Sheet. EPA832-F-00-061. pp. 1-7
62. Vulling, M. (1998) "Experiencia de Composteo de Cuautitlán Izcalli." Memorias del Curso de Fomento al Composteo en municipios del Estado de México. Tultepec, Edo. Méx. SEGEM-GTZ. pp. 18-55
63. Wehenpohl G. (1999), "Compostaje, elemento integral de la Gestión de Residuos Sólidos a nivel Municipal." Memorias del Foro-Taller: Promoción del Composteo en el Estado de México, municipio de Tultepec. SEGEM-GTZ. pp. 8-12
64. Wiles, C.C. (1978) "Composting of refuse". Composting of Municipal Residues and Sludges, Information Transfer, Inc. Rockville, MD
65. Woodbury, P.B (1992) "Municipal solid waste composting: Potential effects of heavy metals in municipal solid waste composts on plants and the environment". Biomass & Bioenergy. Vol.3, pp.239-259
66. Zuani J. y Domínguez H. (1999) "Cuautitlán Izcalli, Monografía Municipal". Instituto Mexiquense de Cultura, 1er edición. pp. 19-20

Web pages consultadas:

- <http://www.inegi.gob.mx/entidades/espanol/edomex/edomex.html>, y <http://www.cuautitlan-izcalli.gob.mx/01cuau.htm>. Para la elaboración de Mapa de localización del Municipio de Cuautitlán Izcalli
- http://www.ine.gob.mx/dggia/indicadores/espanol/i_rsm5.htm.

ANEXO: CÁLCULOS

I. CÁLCULO DE ANOVA DE UN FACTOR

ANOVA de un factor (Por días finales al composteo)								
	CONTROL		MICROSOIL		LODOS		AGROPLUS	
	DIAS	(DIAS) ²	DIAS	(DIAS) ²	DIAS	(DIAS) ²	DIAS	(DIAS) ²
	41	1681	35	1225	36	1296	32	1024
	44	1936	34	1156	35	1225	33	1089
	46	2116	36	1296	38	1444	32	1024
Exí.	131	5733	105	3677	109	3965	97	3137
\bar{X}	43.666		35		36.333'		32.333'	
s ²	2.5166		1		1.5275		0.5773	

$$X_{..} = 442$$

$$a = 4$$

$$n = 3$$

$$Enj = 12$$

- A. **H₀** = Todos los tratamientos son iguales
H_a = Al menos uno de los tratamientos es diferente

B. Cálculos

$$1.- Fc = \frac{X_{..}^2}{a(n)} = \frac{(442)^2}{4(3)} = \frac{195364}{12} = 16280.333'$$

$$2.- SC_{total} = Ex^2_{ij} - Fc = 16512 - 16280.333' = 231.6667$$

$$3.- SC_{muestral} = \frac{Exi^2}{n} = Fc = \frac{(131^2 + 105^2 + 109^2 + 97^2)}{3} - 16280.333' =$$

$$= \frac{(17161 + 11025 + 11881 + 9409)}{3} - 16280.333' =$$

$$= 16492 - 16280.333' = 211.6667$$

$$4.- SC_{error} = SC_{total} - SC_{muestral} = 231.6667 - 211.6667 = 20$$

FUENTE	g. l.	SC	CM	F calculada	F tablas (0.05)	F tablas (0.01)
Muestras	3	211.66667	70.5555	28.2222	4.07	7.59
Error	8	20	2.5			
Total	11	231.66667				

Considerando que: $F \text{ calculada} \geq F_{\alpha}$ entonces se rechaza H_0 por lo tanto, **se rechaza H_0 ya que F calculada es mayor a F de tablas, se acepta H_a .**

$$CV = \frac{\sqrt{CM_{\text{error}}}}{\bar{X}} (100) = \frac{\sqrt{2.5}}{36.833'} (100) = \frac{1.58113883}{36.833'} (100) = 0.042926846 (100) = \mathbf{4.29268461\%}$$

Mientras más pequeño sea el CV, mayor confiabilidad hay en los datos.

II. PRUEBA T-STUDENT

A. Alinear los promedios de mayor a menor.

CONTROL: $\bar{x}_1 = 43.6666667;$

BIOSOLIDOS: $\bar{x}_2 = 36.333';$

MICROSOIL: $\bar{x}_3 = 35;$

AGROPLUS: $\bar{x}_4 = 32.333'.$

B. Juego de comparaciones.

$$C1: \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3}{3} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3n} - \frac{x_4}{n}$$

$$C2: \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 - \bar{x}_3}{2} = \frac{x_1 + x_2}{2n} - \frac{x_3}{n};$$

$$C3: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = \frac{x_1}{n} - \frac{x_2}{n}$$

C. Aplicando con el cálculo de Diferencia Mínima Significativa (DMS)

Considerando que:

- $D_{|x_1-x_2|} \geq \text{DMS} = \text{estadísticamente distintos}$
- $D_{|x_1-x_2|} < \text{DMS} = \text{iguales}$

C1:

$$\begin{aligned} \text{DMS} = t_{0.05}(8) &= 1.8595 \left(\sqrt{\frac{S^2}{n_1} + \frac{S^2}{n_2}} \right) = 1.8595 \left(\sqrt{\frac{2.5}{9} + \frac{2.5}{3}} \right) = 1.8595 \left(\sqrt{0.277' + 0.833'} \right) = \\ &= 1.8595 (1.054092553) = \mathbf{2.4307} \\ t_{0.01}(8) &= 2.896 (1.054092553) = \mathbf{3.536480} \end{aligned}$$

$$C1 = \frac{131+109+105}{9} - \frac{97}{3} = 38.33' - 32.33' = \mathbf{6}$$

$$D = 6 > \text{DMS} = 2.4307 (0.05) \text{ y } 3.53 (0.01)$$

C2:

$$\begin{aligned} \text{DMS} = t_{0.05}(8) &= 1.8595 \left(\sqrt{\frac{S^2}{n_1} + \frac{S^2}{n_2}} \right) = 1.8595 \left(\sqrt{\frac{2.5}{6} + \frac{2.5}{3}} \right) = 1.8595 \left(\sqrt{0.416' + 0.833'} \right) = \\ &= 1.8595 (1.118033988) = \mathbf{2.57814} \\ t_{0.01}(8) &= 1.8595 (1.118033988) = \mathbf{3.7510} \end{aligned}$$

$$C2 = \frac{131+109}{6} - \frac{105}{3} = 40 - 35 = \mathbf{5}$$

$$D = 5 > \text{DMS} = 2.578 (0.05) \text{ y } 3.751 (0.01)$$

C3:

$$\begin{aligned} \text{DMS} = t_{0.05}(8) &= 1.8595 \left(\sqrt{S^2 + S^2} \right) = 1.8595 \left(\sqrt{2.5 + 2.5} \right) = 1.8595 \left(\sqrt{0.833+1.833'} \right) = \\ &= 1.8595 (1.290994449) = \mathbf{2.977033} \\ t_{0.01}(8) &= 2.896 (1.290994449) = \mathbf{4.331286} \end{aligned}$$

$$C3 = \frac{131}{3} - \frac{109}{3} = 43.66666667 - 36.333' = \mathbf{7.333'}$$

$$D = 7.333' > \text{DMS} = 2.97 (0.05) \text{ y } 4.331 (0.01)$$

Todos son distintos al CONTROL

III. PRUEBA DE TUKEY

Alinear los promedios de mayor a menor.

CONTROL: $\bar{x}_1 = 43.6666667$;

BIOSOLIDOS: $\bar{x}_2 = 36.333$;

MICROSOIL: $\bar{x}_3 = 35$;

AGROPLUS: $\bar{x}_4 = 32.333$.

Calcular W

$$W = q_{\alpha} S_{\bar{x}} \quad ; \quad \text{donde: } S_{\bar{x}} = \frac{\sqrt{S^2}}{n} \quad ; \quad \text{y } S^2 = \text{CM error.}$$

$$= \frac{\sqrt{2.5}}{3} = \sqrt{0.8333} = \mathbf{0.912871}$$

$$W = q_{0.01}(4,8) S_{\bar{x}} = 6.20 (0.912871) = \mathbf{5.9598}$$

$$W = q_{0.05}(4,8) S_{\bar{x}} = 4.53 (0.912871) = \mathbf{4.135305}$$

Número de comparaciones posibles o de diferencias entre "a" muestras.

$$\frac{a(a-1)}{2} = \frac{4(3)}{2} = \frac{12}{2} = \mathbf{6}$$

Comparación de combinaciones con W ($\alpha_{0.01} = 5.9598$; $\alpha_{0.05} = 4.135305$).

Considerando que:

- Media \geq W = diferencia significativa
- Media $<$ W = no significativa

1.- $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 43.66 - 36.33 = 7.333 > W$.

2.- $\bar{x}_1 - \bar{x}_3 = 43.66 - 35 = 8.6666667 > W$.

$$3.- \bar{x}_1 - \bar{x}_4 = 43.66 - 32.333' = 11.33' > W$$

$$4.- \bar{x}_2 - \bar{x}_3 = 36.33' - 35 = 1.333' < W \text{-----No Significativa}$$

$$5.- \bar{x}_2 - \bar{x}_4 = 36.33' - 32.33' = 4 < W \text{-----No Significativa}$$

$$6.- \bar{x}_3 - \bar{x}_4 = 35 - 32.33' = 2.6666667 < W \text{-----No Significativa}$$

Triángulo de la Tabla

Promedios Decreciente	CONTROL \bar{x}_1	BIOSÓLIDOS \bar{x}_2	MICROSOIL \bar{x}_3	AGROPLUS \bar{x}_4
Promedios Ascendente	43.6666'	36.3333'	35	32.333'
$\bar{x}_4 = 32.333'$	11.333'	4	2.6666'	0
$\bar{x}_3 = 35$	8.666'	1.3333'	0	
$\bar{x}_2 = 36.3333'$	7.333'	0		
$\bar{x}_1 = 43.6666'$	0			

$W_{\alpha=0.01} = 5.9598$
 $W_{\alpha=0.05} = 4.13530$

- Los tratamientos tuvieron diferencias significativas comparándolos con el control.
- Entre tratamientos no existieron diferencias significativas.
- El tratamiento con AGROPLUS fue el que tuvo una diferencia altamente significativa con respecto al control, en comparación con los demás tratamientos.