

79
2ej.

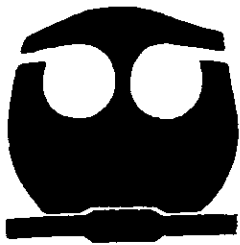


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**ELABORACION DE COMPOSTA A PARTIR DE
MATERIAL VEGETAL Y LODOS RESIDUALES
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE
CIUDAD UNIVERSITARIA.**

**TESIS MANCOMUNADA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A N :
LAURA ISELA GONZALEZ URBAN
ROSSANA ROSETE VAZQUEZ**



MEXICO D. F.

258136

1998

**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 está 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.

Jurado asignado:

Presidente	Prof. González Arredondo Leticia Ma. de los A.
Vocal	Prof. Torres Barrera Rodolfo
Secretario	Prof. Luna Pabello Víctor Manuel
1er. Suplente	Prof. Calderón Villagomez Hilda Elizabeth
2o. Suplente	Prof. López Martínez José Luis

Sitio donde se desarrolló el tema: Laboratorio 301 Edificio "E"
Facultad de Química.

Asesor:



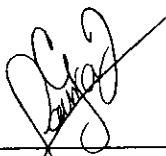
Dr. Víctor Manuel Luna Pabello

Supervisor técnico:



I.Q. Marisela Bernal González

Sustentantes:



Laura Isela González Urbán



Rossana Rosete Vázquez

Dedico esta tesis a :

Mis papás: Jesús e Irene quien con todo su cariño me han enseñado a ser paciente y tener Fé, quien en todo momento me han alentado para lograr lo que deseo.

A mis hermanos: Martha, María de Jesús, Claudia y Favio, por su apoyo a lo largo de mi vida.

A mi sobrino: Jesús Antonio, con mucho cariño.

A mis amigos que sin tener que mencionar a cada uno de ellos saben quienes son y cuanto los quiero. Por el apoyo y momentos felices durante toda la Universidad.

A la Universidad Autónoma de México y mis profesores que ayudaron directa o indirectamente a la realización de mi tesis.

ISELA

Esta tesis se la dedico a:

Dios, gracias por la familia que me diste.

Pedro y Carmen (Queto y Queta), gracias por hacer de mi vida un mundo lleno de felicidad.

José Antonio (Espanto), por todos esos momentos que hemos compartido.

Eduardo, gracias por toda tu ayuda y paciencia durante la elaboración de esta tesis. Aunque sabes, nada sería tan maravilloso si tú no estuvieras aquí. T.A.

A todas mis amigas del Félix, IMA y de la Facultad por su amistad desinteresada, pero en especial a Isela por invitarme a trabajar en esta tesis.

Rossana.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Víctor Manuel Luna Pabello

Por su valioso apoyo, al compartir sus conocimientos y experiencia en la realización de este trabajo.

Ing. Alfredo Martínez

Dirección General de Obras UNAM

B. Javier Montoya

Vivero Bajo de la UNAM

Ing. Hilario García

Planta de Tratamiento de Aguas de CU

Q. Mercedes Sotelo

IDECA, S.A. de C.V.

I.Q. Mariseia Bernal

I.Q. Xicoténcatl López

PIQA y QA

Proyecto DGAPA - UNAM IN505594 "Estudio de la biodegradación de contaminantes disueltos en aguas residuales usando comunidades microbianas en matrices sólido líquido - gas".

Proyecto BMFT FP/ 0402 - 82 - 01 (2280)

Proyecto Apoyo financiero a través del PAIP, clave núm. 5290 - 12 (Facultad de Química, UNAM).

ÍNDICE

	pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	4
1. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA	5
⇒ LODO BIOLÓGICO RESIDUAL	
1.1 Origen y definición	5
1.2 Características	6
1.3 Tratamientos	9
⇒ MATERIAL VEGETAL	
1.4 Origen	17
1.5 Características	19
1.6 Tratamientos	20
2. PROCESO DE COMPOSTEO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ABONOS	23
2.1 Clases de composteo	23
2.2 Etapas básicas en el proceso de composteo	25
2.3 Factores que influyen en el proceso de composteo	29
2.4 Monitoreo	31
2.5 Dosis de composta recomendadas	36
2.6 Definición de abonos	39
2.7 Indicación de la riqueza de los abonos	39
2.8 Clasificación de los abonos	40
2.9 Efectos de los abonos orgánicos sobre el crecimiento de las plantas	42

	pág.
3. ESTRATEGIA DE TRABAJO	46
⇒ Primer ensayo (Composta tradicional)	47
⇒ Segundo ensayo (Pruebas de biodegradación en ambiente aerobio y anaerobio)	48
3.1 Operación y monitoreo del proceso aerobio y anaerobio	51
3.2 Resultados de la experimentación preliminar	52
4. PARTE EXPERIMENTAL	57
4.1 Muestreo	57
4.2 Pretratamiento	57
4.2.1 Trituración	57
4.2.2 Secado al aire	59
4.2.3 Tamizado	59
4.2.4 Decantado	59
4.3 Montaje del equipo	59
4.3.1 Proceso aerobio	60
4.3.2 Proceso anaerobio	60
4.3.3 Proceso de composteo	60
4.4 Análisis físicos y químicos	61
4.4.1 Técnicas de análisis	61
5. RESULTADOS	63
5.1 Características fisicoquímicas iniciales de los materiales empleados	63
5.2 Resultados fisicoquímicos durante el periodo experimental para los procesos anaerobio y aerobio	64
5.3 Resultados fisicoquímicos de la composta	70

	pág.
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	72
6.1 Pruebas de biodegradación aerobia y anaerobia	72
6.1.1 Humedad	72
6.1.2 Densidad	73
6.1.3 Potencial de hidrógeno (pH)	73
6.1.4 Materia orgánica	73
6.1.5 Capacidad de intercambio catiónico	73
6.1.6 Sólidos	74
6.1.7 Potasio, Nitrógeno y Fósforo	74
6.2 Composta	76
6.2.1 Humedad	77
6.2.2 Densidad	77
6.2.3 Registro de temperaturas	77
6.2.4 Potencial de hidrógeno (pH)	78
6.2.5 Ácidos húmicos y fúlvicos	78
6.3 Balance de materia y energía	80
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	
I: Planta de Tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria	90
II: Guía: Para la operación del equipo VOITH-Sapromat B-12 y equipo de agitación para proceso anaerobio	101
III: Técnicas de análisis	110

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
1. Planteamiento del problema	3
2. Origen del lodo residual	7
3. Tratamiento del lodo para su disposición y aplicación en suelo	10
4. Relleno sanitario	14
5. Sección transversal de un horno de pisos múltiples	18
6. Tratamientos del material vegetal	22
7. Composteo en reactor	24
8. Composteo en pila estática	24
9. Composteo en camellón	26
10. Etapas básicas en el composteo	27
11. Características del reactor	49
12. Proceso anaerobio	50
13. Proceso aerobio	50
14. Producción de biogás a partir de lodo y mezcla (lodo:material vegetal)	55
15. Oxígeno consumido en la degradación aerobia del lodo, material vegetal y mezcla 1:1 de ambos	56
16. Descripción de la parte experimental	58
17. Producción de biogás de lodo y mezcla (lodo:material vegetal)	68
18. Oxígeno consumido en la degradación aerobia del lodo, material vegetal y mezcla 1:1 de ambos	69
19. Registro de temperaturas	71
20. Etapas en el tratamiento de aguas residuales	91
21. Diagrama de la Planta de Tratamiento de Aguas de Ciudad Universitaria	99
22. Partes del VOITH SAPROMAT B-12	108
23. Contenido de la pantalla de la unidad de control	108

	pág.
24. Esquema del generador de oxígeno	108
25. Indicador de presión	108
26. Equipo de agitación	109
27. Curva patrón de fósforo	126
28. Curva patrón de potasio	130

ÍNDICE DE TABLAS

	pág.
1. Reducción de patógenos y estabilización de lodo residual con diferentes tratamientos	11
2. Tipos de relleno sanitario, características y volumen de lodo tratado	15
3. Origen de los desechos de jardinería	19
4. Especies localizadas en las áreas verdes de Ciudad Universitaria	20
5. Parámetros para monitoreo en el proceso de composteo	32
6. Parámetros fisicoquímicos y técnicas de análisis recomendadas para el control de un sistema de composteo	34
7 (a). Usos y dosis de aplicación de la composta de lodo residual para obtener beneficios, fertilizantes y acondicionadores	37
7 (b). Usos y dosis de aplicación de la composta de lodo residual para obtener beneficios, fertilizantes y acondicionadores	38
7 (c). Usos y dosis de aplicación de la composta de lodo residual para obtener beneficios, fertilizantes y acondicionadores	38
8 . Riqueza de abonos	40
9. Clasificación de los abonos según el punto de vista químico - agrícola	43
10. Abonos orgánicos comerciales	
11. Características iniciales de los materiales utilizados en el proceso de composteo	52
12. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla del proceso anaerobio a la segunda semana de experimentación preliminar	53
13. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla del proceso aerobio a la segunda semana de experimentación preliminar	53

	pág .
14. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla del proceso anaerobio a la cuarta semana de experimentación preliminar	54
15. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla del proceso aerobio a la cuarta semana de experimentación preliminar	54
16. Parámetros fisicoquímicos y técnicas de análisis	62
17. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla al inicio del experimento	63
18. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla del proceso anaerobio a la segunda semana de experimentación	64
19. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla del proceso aerobio a la segunda semana de experimentación	65
20. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla del proceso anaerobio al final del experimento	66
21. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla del proceso aerobio en la cuarta semana de experimentación	67
22. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a la composta durante el experimento	70
23. Registro de temperatura	71
24. Porcentajes de humedad al inicio y final del experimento	72
25. Comparación cualitativa de las características fisicoquímicas del lodo, material vegetal y mezcla para ambos procesos de biodegradación.	75

	pág.
26. Diferencia entre proceso aerobio y anaerobio	76
27.. Características iniciales de la mezcla (lodo:material vegetal)	76
28. Características físicas de la composta	77
29. Intervalos típicos de la composta	79
30. Comparación de la calidad de productos obtenidos en los diferentes procesos	79
31. Balance de materia en proceso aerobio, anaerobio y composteo	81

RESUMEN

El propósito de este trabajo es presentar una alternativa de disposición final para lodos biológicos residuales y el material vegetal generado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y en el Vivero Bajo de Ciudad Universitaria. Debido a las características de estos residuos es posible reincorporarlos a los ciclos biogeoquímicos, por medio de una transformación simple, como es el proceso de composteo.

Para el logro de tal propósito, se consideraron las siguientes metas y actividades:

- Realizar una investigación documental sobre las técnicas de disposición de lodos biológicos residuales y material vegetal.
- Realizar ensayos preliminares para el estudio del proceso de composteo en condiciones aerobias y anaerobias, para determinar las variables que intervienen en este.
- Seleccionar parámetros y técnicas adecuadas para el estudio del proceso de composteo y así poder caracterizar los lodos y material vegetal mediante análisis fisicoquímicos.
- Valorar la calidad de la composta obtenida para su aplicación en plantas ornamentales.

Por otro lado, basados en los resultados obtenidos en las pruebas preliminares, se observó que el composteo presenta procesos aerobio y anaerobio, que son difíciles de evaluar de manera conjunta, por lo que se optó, estudiar por separado ambos tipos de oxidaciones, para comparar de manera más precisa el comportamiento de ambos fenómenos. De acuerdo con los resultados obtenidos el composteo aerobio es la alternativa más óptima de solución a esta problemática. Con esta técnica se obtiene un producto que cumple con las características físicas y químicas de una composta, y que puede ser utilizado como abono orgánico de plantas de ornato y jardines, ayudando a mejorar la estructura del suelo.

INTRODUCCIÓN

En Ciudad Universitaria se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que utiliza tres sistemas depuradores: lodos activados, filtros percoladores biológicos rotatorios. Estos sistemas tienen como subproductos agua parcialmente tratada y lodo biológico residual. Es en este último subproducto donde se depositan los contaminantes removidos (bacterias patógenas y no patógenas, metales pesados y tóxicos orgánicos). De los lodos producidos solo una fracción es recirculada al sistema de lodos activados mientras que la gran mayoría no tiene ningún uso y son actualmente incorporados al drenaje.

Por otra parte, debido a la gran extensión de áreas verdes con las que cuenta Ciudad Universitaria se generan grandes volúmenes de materia vegetal (hojarasca, pasto, ramas, etcétera) con alto contenido en materia orgánica. Estos volúmenes son depositados en grandes espacios de suelo, convirtiéndose en un desecho. Además, al ser retirados provocan la pérdida de suelo.

Como una opción para resolver la disposición final de estos desechos (material vegetal, y lodos biológicos residuales), se propone la transformación de ambos, mediante la aplicación del proceso de composteo, para ser reincorporados nuevamente a los ciclos biogeoquímicos (Figura 1). Generando un producto orgánico estable, el cual puede ser almacenado y manejado como un abono o mejorador de suelos, para las áreas verdes del campus que así lo requieran.

Se espera que mediante este proceso se contribuya con una alternativa para resolver el problema de la disposición final de ambos desechos sin perjuicios al medio ambiente y en beneficios a la comunidad.

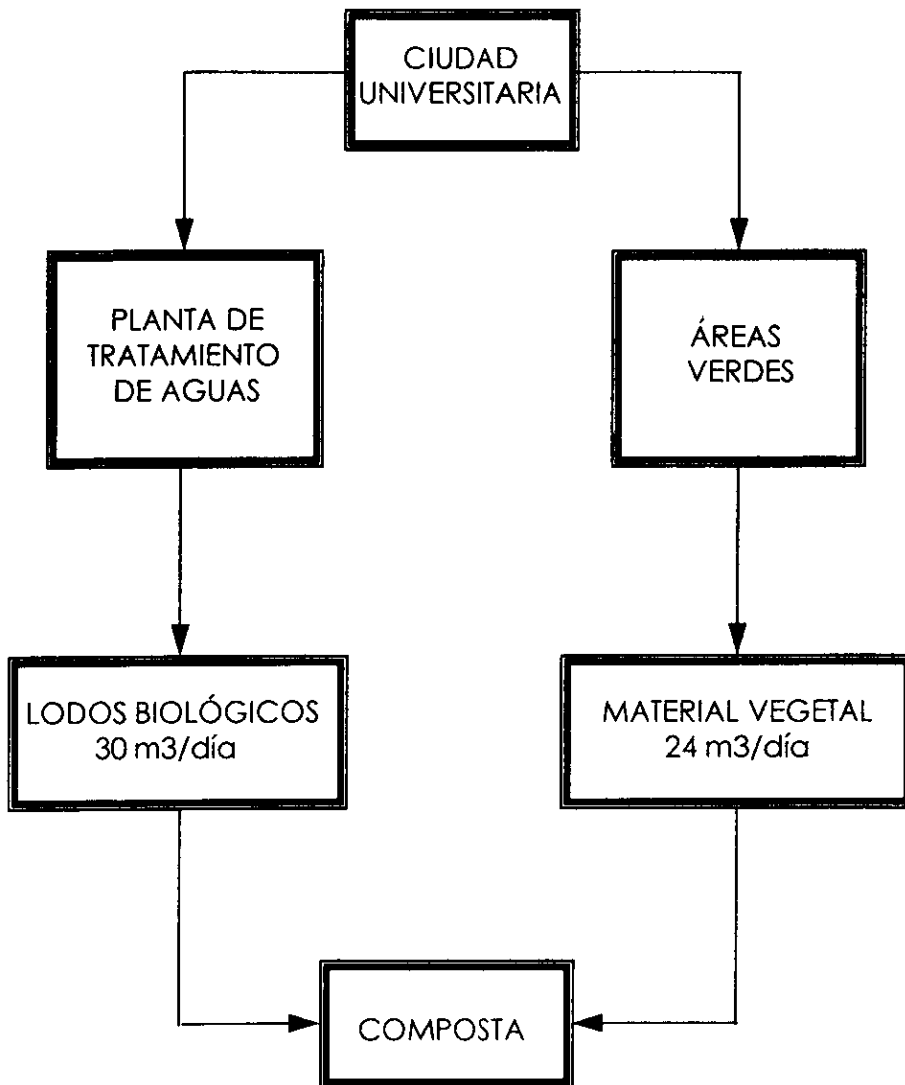


Figura 1. Planteamiento del problema

OBJETIVOS

Objetivos generales:

- Utilizar los desechos de la Planta de Tratamiento de Aguas de Ciudad Universitaria (lodos biológicos) y material de jardinería (hojarasca, ramas secas y pasto) provenientes del vivero Bajo de Ciudad Universitaria, como materia prima para elaborar composta.
- Evaluar la calidad del producto final obtenido y su posible uso.

Objetivos particulares:

- Caracterización fisicoquímica de los lodos biológicos residuales provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas de Ciudad Universitaria y de los desechos de jardinería.
- Evaluar el proceso de degradación aerobia y anaerobia de una mezcla de lodos biológicos residuales con residuos de jardinería en una porción 1:1

1. MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

⇒ LODO BIOLÓGICO RESIDUAL

1.1 Origen y definición

Dentro de Ciudad Universitaria se encuentra localizada la planta de tratamiento de aguas, cuya finalidad principal es la de proporcionar un tratamiento a las aguas residuales provenientes de diversas zonas del campus y de la colonia Copilco el Alto. Esta planta esta diseñada para tratar 40 litros por segundo de aguas residuales. Al finalizar el tratamiento de las aguas, se generan subproductos tales como: agua parcialmente tratada y un volumen de 30 m³/día de lodos biológicos residuales, los cuales no tienen ningún uso y son incorporados al drenaje para su desalojo.

En general, los tratamientos para aguas residuales consisten de uno o más procedimientos físicos, químicos y biológicos. Los cuales pueden ser divididos en primarios, como la sedimentación de sólidos, que remueve del 50 al 60% de los sólidos totales, y los secundarios que incluyen sistemas biológicos. Existe además tratamientos terciarios que permiten obtener un efluente de alta calidad.

El lodo residual es por lo tanto, un producto de desechos en el tratamiento convencional del agua residual. Lo constituyen los sólidos sedimentables y no sedimentables, que por medio de floculación biológica y posteriormente precipitación son extraídos d los tanques de sedimentación.

La calidad del lodo depende del tipo de agua y del tratamiento empleado para su depuración y consecuente generación de lodos. En la figura 2. se

indican sus principales fuentes, sus principales tratamientos y su probable destino final.

1.2 Características

Los componentes del lodo son muy heterogéneos y su contenido depende no sólo del origen del agua, sino también de la tecnología de tratamiento empleada y de la época del año (población, condiciones climatológicas, etc.). Diferentes tratamientos del lodo producen distintas clases y volúmenes. En una misma planta de tratamiento, las características varían durante el año, o aún diariamente, debido a las variaciones en la composición del agua y del proceso. Estos cambios son particularmente pronunciados en las plantas que reciben descargas industriales.

Su contenido de patógenos y tóxicos lo hacen un desecho difícil de disponer. Sin embargo, el análisis fisicoquímico del lodo proporciona pruebas de su valor fertilizante, por lo que su uso constituye una alternativa de disposición.

La disposición incontrolada del lodo, en basureros, rellenos sanitarios, o en cuerpos de agua, produce un impacto ambiental negativo, ya que los metales pesados penetran la cadena alimenticia. Su presencia en grandes cantidades, en el suelo, causan fitotoxicidad por metales tales como Zn, Cu o Ni, o absorción y acumulación de Cd, en tejidos animales y vegetales. El lodo contiene niveles más altos de metales pesados que el suelo, aún cuando sea de origen doméstico.

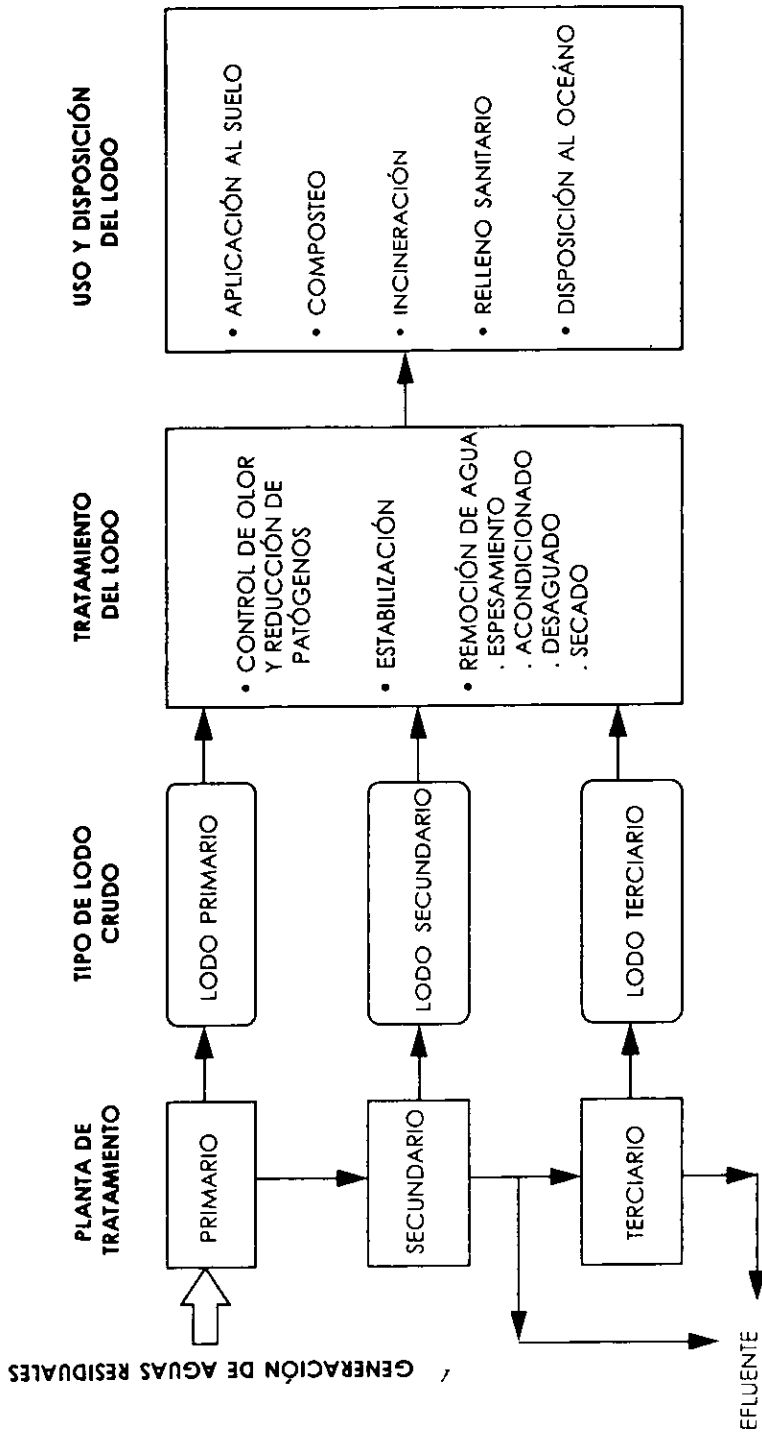


Figura 2. Origen del lodo residual

Una aplicación no controlada de lodo al suelo provoca un exceso de nitratos que son lixiviados al acuífero, los cuales afectan al hombre cuando ingiere agua con excesos de estos compuestos. Por otra parte, los nitratos se acumulan en los tejidos vegetales, principalmente en las hojas, lo que, eventualmente provoca problemas en los animales que se alimentan con ellas.

Otros problemas potenciales derivados de la aplicación de los lodos de desechos, son exceso de sales de nitrato y una alta calidad de sodio. El primero reduce la germinación de las plantas y su crecimiento. El segundo causa la dispersión de las partículas del suelo, lo que provoca un empobrecimiento en su estructura y reduce los porcentajes de infiltración de agua, (Buckman,1980).

Desde el punto de vista de salud humana, un exceso de nitratos o de sodio, pueden provocar disfunciones cardiovasculares, hematológicas y neurológicas.

Existen las siguientes ventajas nutrimentales en la aplicación de lodo residual al suelo:

1. Valor Nutrimental: los lodos de aguas negras contienen 2 a 6% de nitrógeno, 2 a 8% de fósforo (P_2O_5) y 0.2 a 0.8% de potasio (K_2O) (en porcentaje en sólidos secos).
2. La materia orgánica de los lodos mejora la calidad del suelo al incrementar el contenido de humus, aumentar la retención de agua y la capacidad de intercambio catiónico. Todo esto contribuye a mejorar la fertilidad del suelo.

El lodo tiene principalmente materia orgánica (40 a 60%) que lo convierte en una fuente de este recurso. Sin embargo, su contenido de contaminantes limita su uso, por lo que es necesario darle un tratamiento antes de que sea dispuesto o aprovechado para fines agrícolas, lo cual se abordará a continuación.

1.3 Tratamientos

La selección o combinación de tratamientos de lodos biológicos, está en relación de las condiciones de operación, los costos y la disposición final de los mismos. Los tratamientos más usuales, así como sus combinaciones, que son aceptables para la disposición o aprovechamiento del lodo en la agricultura, se encuentran en la figura 3. Los tratamientos del lodo tienen como propósito su desinfección, lo cual se lleva a cabo mediante la destrucción o inactivación de organismos patógenos.

Por otra parte, los procesos de estabilización, reducen el volumen del lodo de 25 a 40% debido a que muchos de los sólidos volátiles se convierten en bióxido de carbono, metano y otros compuestos. La estabilización lograda depende de parámetros operacionales como temperatura, mezclado y tiempo de retención. Los efectos de los tratamientos sobre las propiedades del lodo se muestran en la tabla 1.

A continuación, se dará información básica sobre los principales tipos de tratamientos de lodos:

- **Espesamiento:** este proceso logra la remoción de agua del lodo para reducir su volumen. Trae como beneficio el facilitar en el manejo y almacenamiento, así como la remoción de arena y gases.

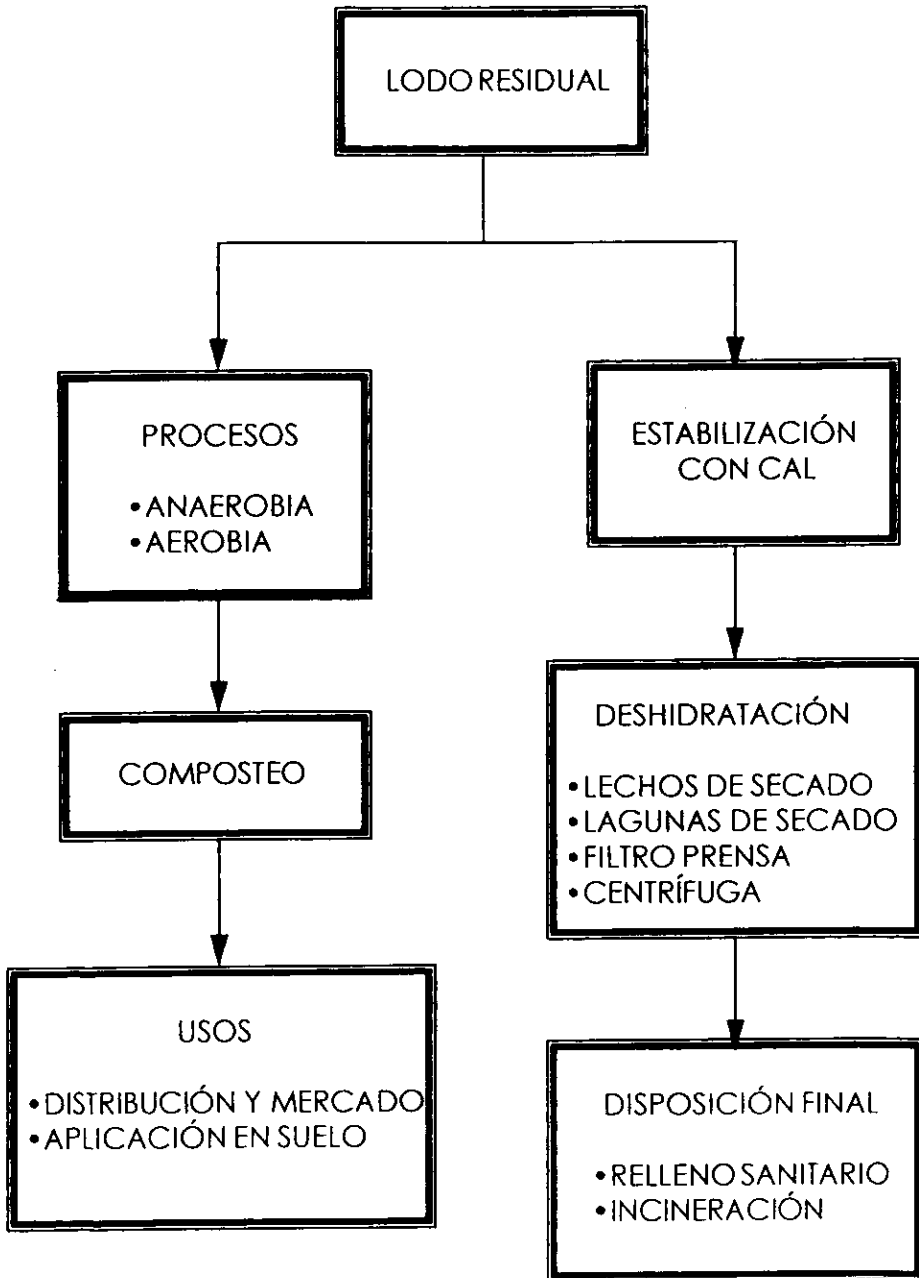


Figura 3. Tratamiento del lodo para su disposición y aplicación en suelo

Tabla 1. Reducción de patógenos y estabilización de lodo residual con diferentes tratamientos

Tratamiento	Reducción de patógenos	Putrefacción potencial	Disminución de olor
Anaerobio	adecuada	baja	buena
Aerobio	adecuada	baja	buena
Cloración	buena	media	buena
Tratamiento con cal	buena	media	buena
Pasteurización (70°C)	excelente	alta	adecuada
Radiación por ionización	excelente	alta	pobre
Tratamiento por calor (195°C)	excelente	alta	pobre
Composteo (60°C)	buena	baja	buena
Laguna de digestión	buena	no reportada	no reportada

Farrel, J.B. y G. Stern, 1974

- **Estabilización:** este tipo de proceso puede ser de tipo biológico o fisicoquímico. El objetivo principal es, en ambos casos, la reducción de los malos olores, la putrefacción y la disminución de organismos patógenos. Muchos de los métodos de estabilización, como los procesos anaerobios y aerobios, reducen la cantidad de sólidos suspendidos, según se indica más adelante.

ESTABILIZACIÓN BIOLÓGICA

1. **Estabilización anaerobia:** consiste en la degradación biológica de las sustancias orgánicas en ausencia de oxígeno. Durante el proceso, se libera energía y gran parte de la materia orgánica es convertida a metano, bióxido de carbono y agua. Simultáneamente, un poco de carbono y energía, permanecen disponibles para sostener la actividad biológica adicional, permitiendo así que los sólidos remanentes sean estabilizados. El proceso anaerobio es un método de estabilización para lodos con bajas concentraciones de tóxicos y con un contenido de sólidos volátiles mayor de 50%. Los microorganismos anaerobios son sensibles a cambios ambientales bruscos por lo que no crecen bajo condiciones de operaciones variables. Por lo tanto, los procesos anaerobios tienen que ser cuidadosamente planeados y controlados principalmente donde existen variaciones en la cantidad y calidad de lodo, (Dalzell, 1985). La estabilización anaerobia reduce los sólidos volátiles entre 70 y 80% (peso seco) a 50%.
2. **Estabilización aerobia:** este tratamiento busca la estabilización bioquímica del lodo mediante la biodegradación microbiana en presencia de oxígeno molecular disuelto empleando tanques abiertos o cerrados, donde los lodos son separados del proceso de tratamiento del agua. El proceso aerobio incluye la oxidación directa de cualquier

materia biodegradable, incluyendo el propio material celular de los microorganismos participantes, lo cual es conocido como respiración endógena.

3. Relleno sanitario (Figura 4): En este proceso, el lodo es depositado en un área dedicada para tal propósito, posteriormente es tapado con suelo. Cuando el lodo es enterrado, se lleva a cabo una degradación anaerobia debido a que el oxígeno es insuficiente; la descomposición así es lenta y menos completa que un proceso aerobio. Este procedimiento puede provocar contaminación en el acuífero por lixiviación. Son pocas las ventajas de este método, por lo que actualmente es desplazado por las nuevas tecnologías de aprovechamiento.

Clases de relleno sanitario (Tabla 2):

- En trincheras o zanjas
- Codisposición

4. Composteo: es un proceso microbiológico que degrada el lodo y lo estabiliza, es un método que provee la eliminación significativa de patógenos y produce un sustrato aceptable que puede ser usado benéficamente sobre el suelo como fertilizante o como un acondicionador. El composteo puede tener ventajas sobre otras alternativas, como por ejemplo:

Costos inferiores en el capital inicial y manejo del proceso, comparándolo con la incineración y el relleno sanitario. En cuanto a la aplicación en el suelo, es un producto de más fácil uso.

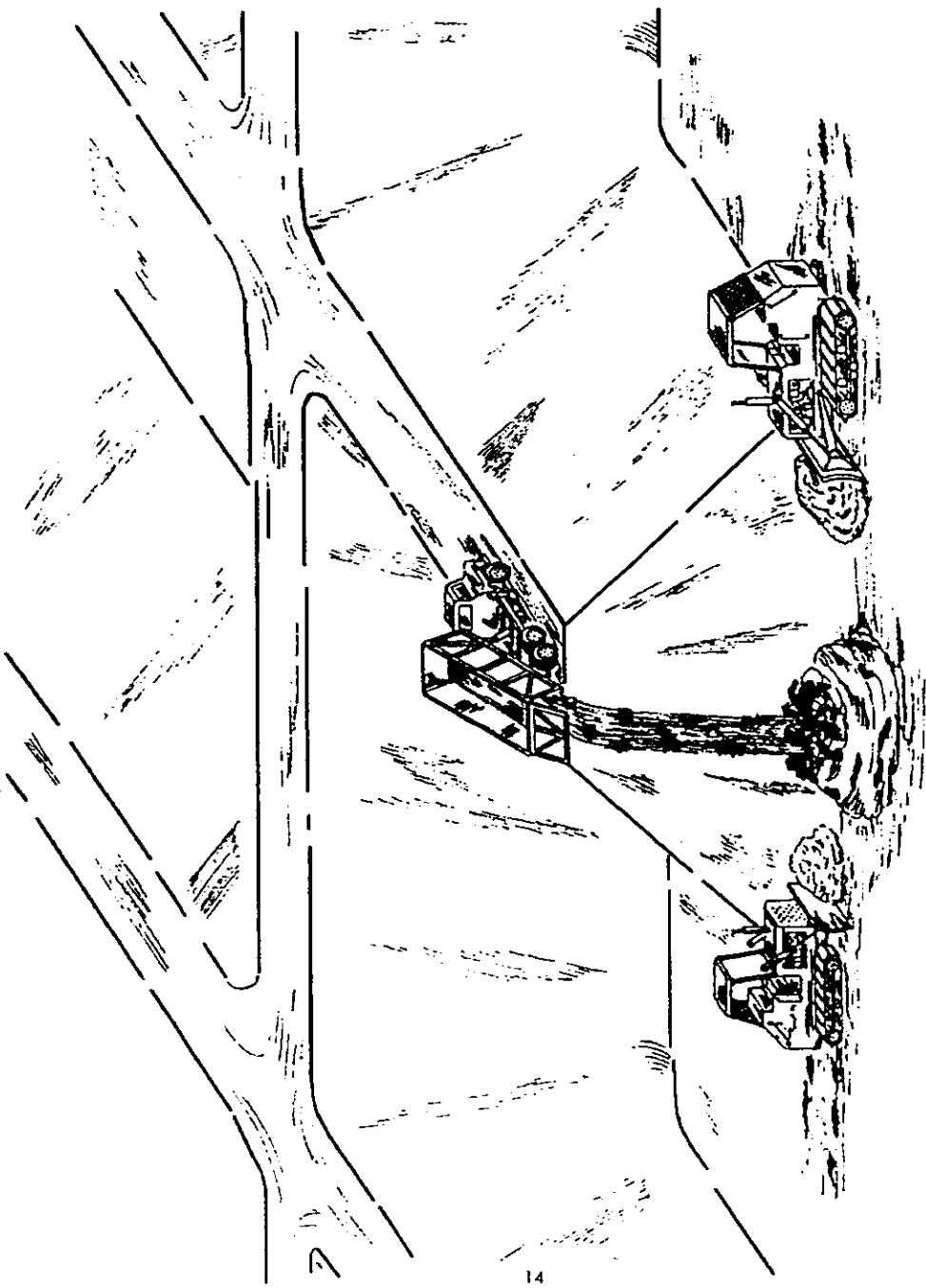


Figura 4. Relleno Sanitario

Tabla 2. Tipos de relleno sanitario, características y volumen de lodo tratado

Tipo de relleno sanitario	Contenido de sólidos en el lodo	Material acondicionador	Volumen de lodo tratado (lodo/ha)
Trincheras angostas	15% - 28%	No	460 a 2120
Trincheras amplias	> 30%	No	200 a 6480
Codisposición mezcla lodo - basura	> 3%	Ocasional	180 a 1600
Lodo - cubierta de suelo	> 20%	Ocasional	No reportado

NOTA: Todo el lodo que sea dispuesto en suelo debe ser previamente estabilizado y desaguado con el objeto de reducir el potencial de lixiviado, así como volumen del lodo.

Los principios son flexibles y se pueden adaptar a una gran variedad de condiciones presentes en las plantas de tratamiento. Estos principios también son aplicables a todos los residuos sólidos que se deseen tratar, individualmente o en forma combinada, por ejemplo lodo-basura.

ESTABILIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

1. Estabilización con cal: es útil en aquellas plantas que producen lodo en exceso y sus tanques de digestión no tienen la capacidad para tratarlo adecuadamente. El encalado a un pH 12 reduce el número de bacterias patógenas a un valor insignificante en una hora. Otro de los efectos obtenidos con el encalado es el incremento de sólidos. La cal es comúnmente usada para acondicionar el lodo antes de ser desecado.
2. Cloración: este tratamiento estabiliza el lodo de dos formas a) disminuyendo el número de organismos que generan mal olor y b) haciendo al sustrato menos apropiado para el crecimiento bacteriano al reducir el pH en un intervalo de 2 a 3 unidades. Las desventajas de este proceso son: la generación de compuestos clorados potencialmente cancerogénicos y la necesaria estabilización del pH del lodo antes de su aplicación al suelo, lo que redundaría en el costo del tratamiento y eventual disposición final. También debe mencionarse que no hay reducción en el volumen inicial del lodo.
3. Pasteurización: con un intervalo de temperaturas entre 70 a 90 °C, de 10 a 30 minutos, se reduce la población de virus y bacterias.
4. Desaguado y secado: el lodo es desaguado para aumentar la concentración de sólidos y reducir los costos del transporte al sitio de disposición. El secado permite obtener concentraciones de sólidos de 40 a 80%.

5. Incineración: es una combustión completa que consiste de dos etapas que incluyen el secado (200 °C) y la ignición (1000 °C) (Figura 5). Las ventajas son: reducir el volumen total de lodo en aproximadamente 95% y también las necesidades de disposición . Las desventajas son: su alto costo (capital, de inversión inicial, y mantenimiento del equipo); requiere de personal capacitado y provoca contaminación atmosférica cuando no hay dispositivos para controlar las descargas a la atmósfera. (Ward, et al.,1972)

Una vez visto algunos de los posibles tratamientos de lodos biológicos, se dará a continuación información sobre la parte correspondiente al material vegetal.

⇒ MATERIAL VEGETAL

1.4 Origen

Ciudad Universitaria cuenta con grandes extensiones de áreas verdes y jardines, las cuales incluyen diversas especies arbóreas y arbustivas. Es importante mencionar que se realizan actividades de mantenimiento para dichas áreas arboladas, que señalan la necesidad de un intensivo plan de cuidado para mantener el equilibrio.

Las principales actividades de mantenimiento, para las áreas arboladas, son realizadas a una población aproximada de 2,509 individuos vegetales. Lo que se convierte en el origen de 24 m³/día de material vegetal (hojas, ramas y pasto principalmente) presentes en el campus universitario. (Tabla 3, Terrazas, 1994).

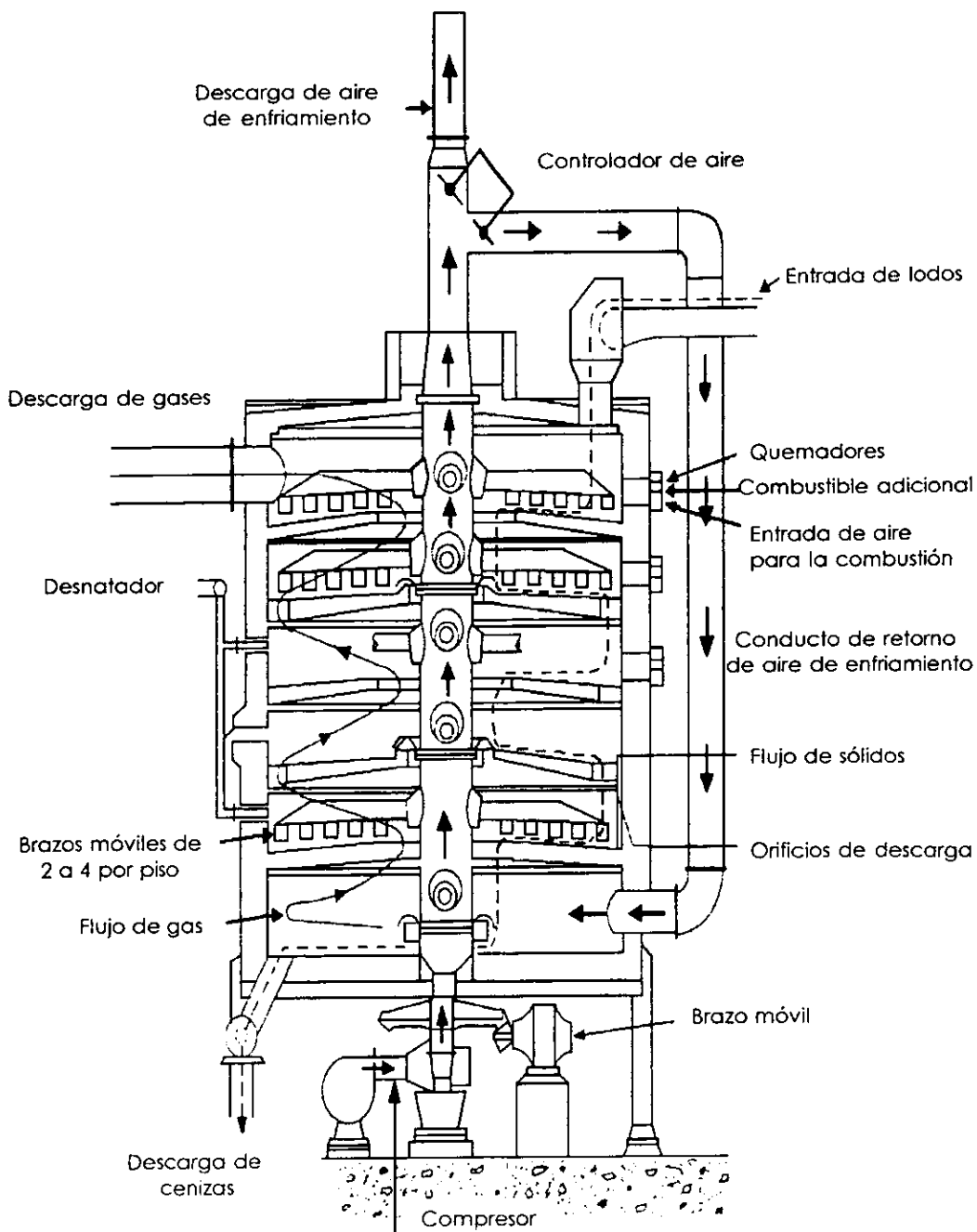


Figura 5. Sección transversal de un horno de pisos múltiples

Tabla 3. Orígenes de los desechos de jardinería.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	POBLACIÓN (Total de individuos 2509)
Podas	2310
Transplantes	185
Remociones	841
Sustituciones	213
Diagnósticos (plagas y enfermedades)	2114

1.5 Características

El inventario de áreas verdes en Ciudad Universitaria presenta dentro de el circuito escolar 105 especies de árboles y arbustos. Sin embargo, de todas estas solo 4 especies arbóreas son dominantes, ya que en conjunto forman el 50% de la población total. Entre las principales especies se encuentran las listadas en la tabla 4.

Esta información es importante porque, además de indicar la diversidad de las especies arbóreas con las que cuenta, muestra el problema que se genera al enfrentarse con el manejo de los desechos producidos al proporcionar cierto mantenimiento a estos recursos.

Tabla 4. Especies localizadas en las áreas verdes de Ciudad Universitaria.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	PORCENTAJE
Trueno	<i>Ligustrum lucidum</i>	15.6
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	11.8
Cedro	<i>Cupressus spp*</i>	10.8
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	10.3
Pino	<i>Pinus spp</i>	5.6
Eucalipto	<i>Eucalyptus spp</i>	5.5
Pirúl	<i>Schinus molle</i>	4.9
Colorín	<i>Erythrina coralloides</i>	4.7
Liquidámbar	<i>Liuidambar macrophylla</i>	3.5
Álamo	<i>Populus spp</i>	2.9

*spp significa que existen varias especies

A continuación se proporcionará información general sobre el manejo que puede dársele a este tipo de material.

1.6 Tratamientos

No existe gran variedad de tratamientos para disposición final del material vegetal, lo más usual es que después de ser recolectado sea triturado. Por lo general este residuo es tratado como basura, pero a pesar de esto se cuentan con algunas técnicas para su disposición final (Figura 6):

- Disposición en basureros o tiraderos a cielo abierto: es la manera más usual y barata de liberarse de estos desechos. Pero además de ocupar un cierto espacio, generalmente bajo las condiciones, prevalecientes ambientales, no se degradan al secarse pueden ser quemados o incinerados incorrectamente (por vandalismo) pudiendo llegar a afectar

áreas vegetales aledañas. Asimismo, pueden obstruir alcantarillas y contaminar superficies de agua.

- Incineración: es una combustión completa que consiste principalmente en una etapa de ignición. La ventaja de la incineración es la reducción del volumen total del material vegetal, no obstante, esta alternativa puede provocar contaminación atmosférica si no se tiene un control adecuado.
- Relleno sanitario: el material vegetal es depositado en una área dedicada para tal propósito, para posteriormente ser tapado con suelo. La descomposición así es lenta debido a la falta de oxígeno y frecuentemente es incompleta ya que queda gran cantidad de material leñoso sin degradar.
- Composteo: es un proceso microbiológico que degrada el material vegetal y lo estabiliza, produciendo un sustrato aceptable que puede ser usado benéficamente sobre el suelo como fertilizante o como un acondicionador.

Dada la importancia que para el presente trabajo reviste el proceso de composteo y las características de los abonos, en el siguiente capítulo se abordarán algunos de los principales aspectos de interés.

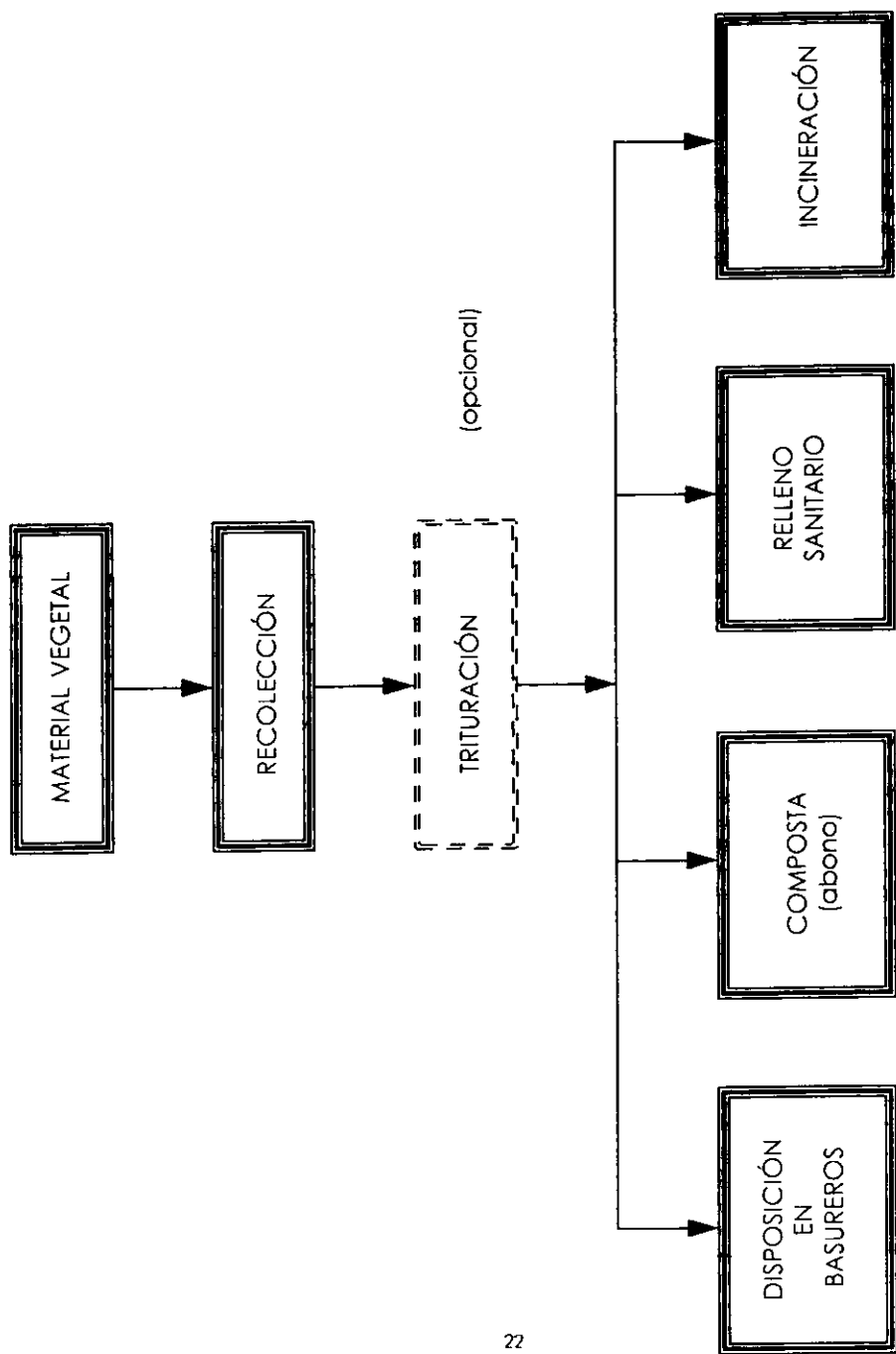


Figura 6. Tratamientos del material vegetal

2. PROCESO DE COMPOSTEO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ABONOS

2.1 Clases de composteo

Los sistemas de composteo están generalmente divididos dentro de tres categorías: camellón, pila estática y reactor o digestor (Ramírez, et al., 1991).

1. Reactor: en este sistema el proceso se lleva a cabo en condiciones total o parcialmente cerradas, y las condiciones ambientales pueden ser controladas (Figura 7). Las fuentes de aire utilizadas son las siguientes: Compresores de desplazamiento centrífugo o positivo; ventiladores de flujo axial y compresores de baja presión. Las ventajas de los reactores son: el poco requerimiento de área, mayor control en el proceso, por que no hay influencia de cambio meteorológicos y control más efectivo en olor. La desventaja principal reside en los altos costos de inversión inicial y mantenimiento.

2. Pila estática: en este sistema la aireación es forzada. El aire es proporcionado por un soplador y es conducido, por un difusor, hacia la mezcla. Las ventajas que ofrece este sistema son: la aireación es controlada y proporcionada por un sistema de ventilación, sin remover el material. Los requerimientos de equipo consisten de un cargador frontal, para realizar el mezclado, una superficie pavimentada, un soplador, un difusor y una criba (Figura 8).

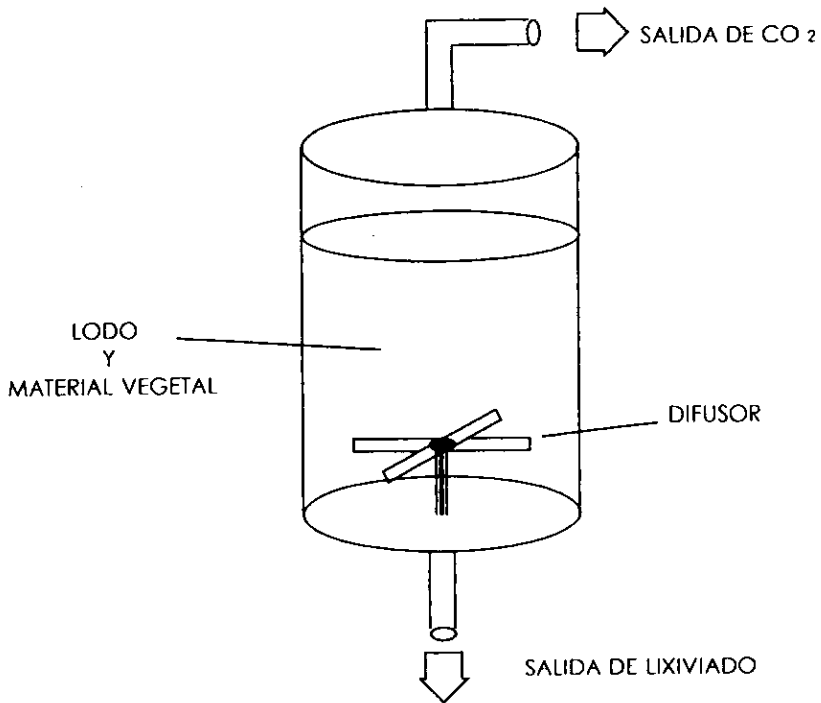


Figura 7. Composteo en reactor

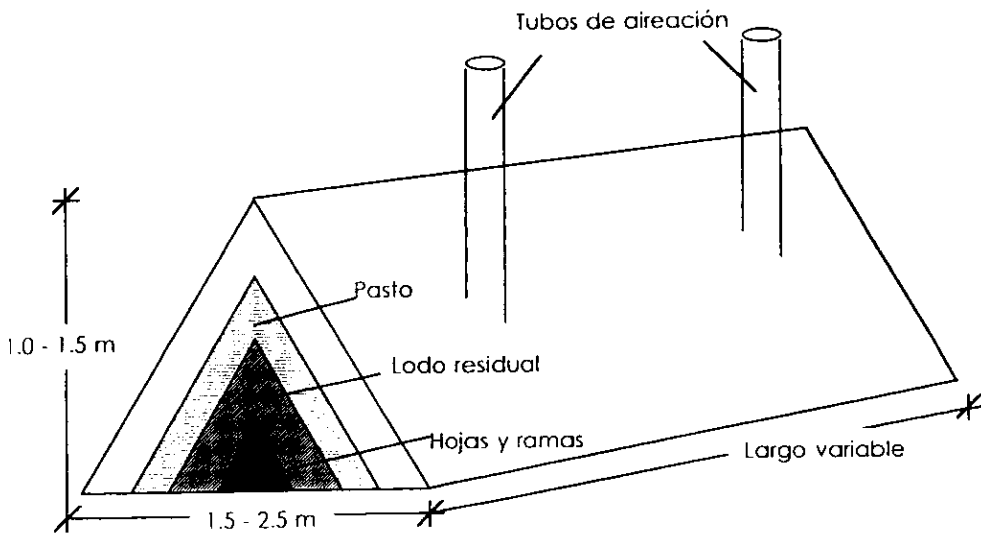


Figura 8. Composteo en pila estática

3. Camellón : básicamente consiste en la elaboración de un montículo dispuesto en hilera. Esta disposición permite su ventilación natural por la difusión y el movimiento convectivo del aire (Figura 9). Las dimensiones del camellón son aproximadamente de 15 m de largo, 4.50 m de ancho y 1.50 m de altura. Las ventajas del camellón son: proporcionar un rápido secado del material, lo que facilita la separación del material acondicionador durante el cribado. La inversión en cuanto a equipo, es baja, requiriéndose principalmente de una mezcladora, un cargador frontal y carros de volteo para el transporte de material. Las desventajas son: Además necesita más monitoreo que en la pila estática, esto a fin de asegurar la aireación y la elevación de temperatura.

2.2 Etapas básicas en el proceso de composteo

Se han realizado investigaciones para determinar si el composteo representa una alternativa viable, capaz de competir con otros métodos de disposición de lodos, y si podría ser utilizada sin riesgo para la salud y el ambiente con beneficio para el suelo y plantas (Díaz, 1994).

Por lo general, en el proceso de composteo, el uso de lodos crudos provoca grandes problemas de olor al ser removidos. Adicionalmente, el material procesado, no alcanza el nivel de temperatura adecuado. Lo anterior ha dado como resultado la creación de diferentes métodos de composteo. En consecuencia cada método sigue diferentes etapas de descomposición y estabilización.

A continuación se describen las etapas básicas para un proceso de composteo (Haug, 1979). Dichas etapas se presentan en la figura 10.

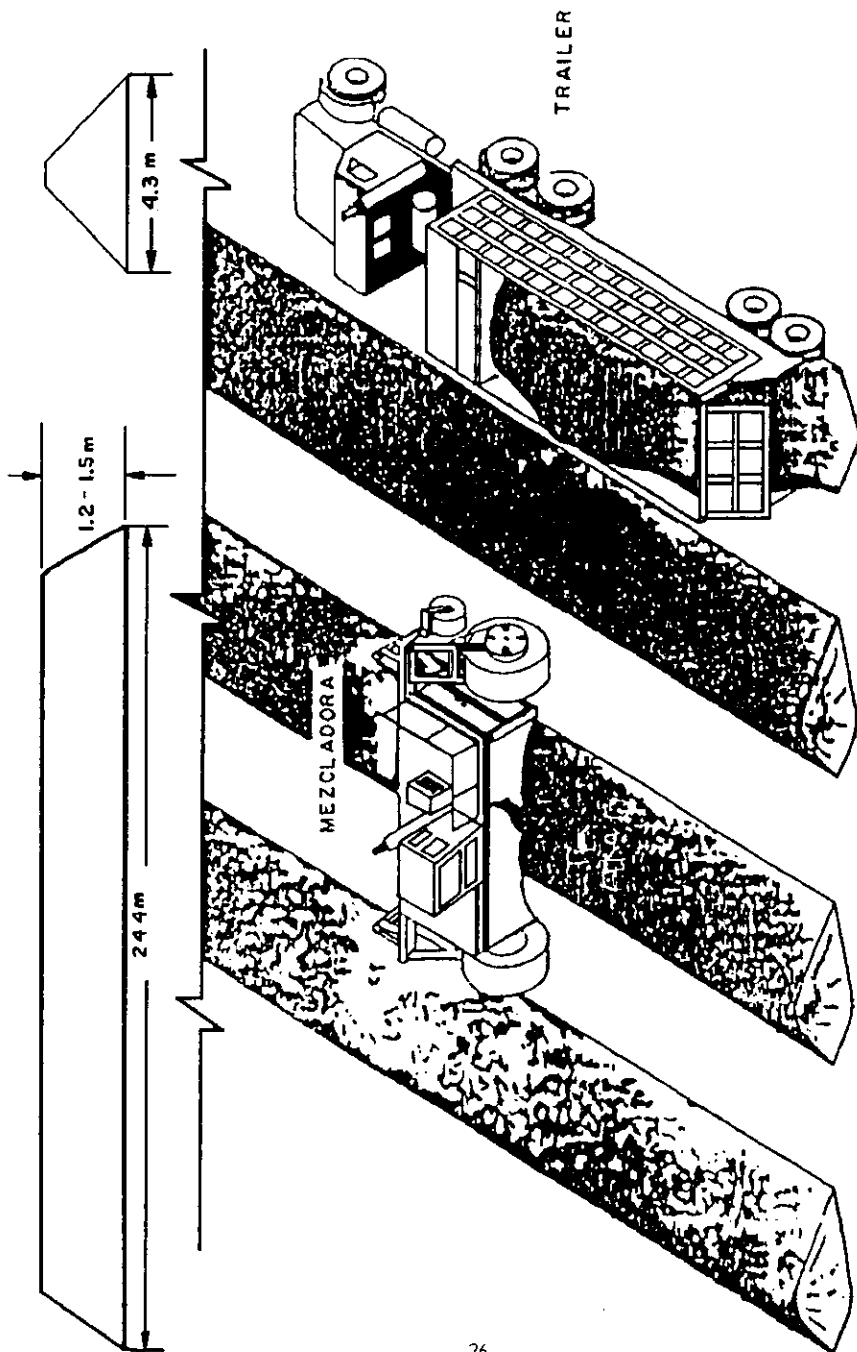


Figura 9. Composteo en camión.

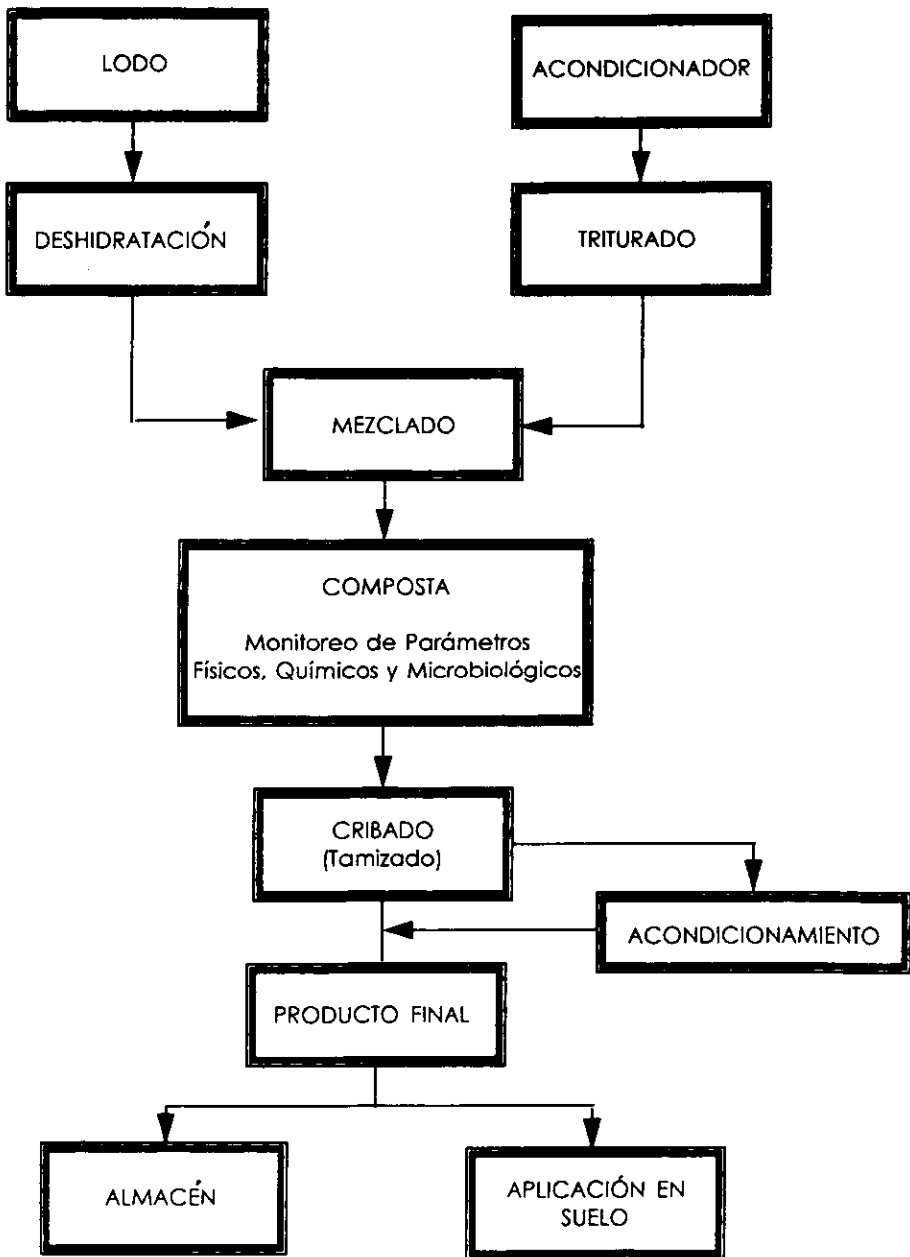


Figura 10. Etapas básicas en el composteo

- Mezclado: después de contar con los lodos y un material acondicionador, la primera etapa es el mezclado. Este consiste principalmente en remover el acondicionador y el lodo para proporcionar a la mezcla cierta porosidad (espacios libres). En el caso de un proceso de tipo aerobio se busca un 30 a 35% de porosidad.
- Termófila: tiene lugar después del mezclado y requiere de tres o cuatro semanas para completarse. Durante este tiempo, se recomienda que la mezcla sea aireada, con la finalidad de que los microorganismos tengan el oxígeno necesario para su metabolismo y se realicen los procesos biológicos de descomposición con la consecuente generación de altas temperaturas, debido a que las reacciones que se llevan a cabo son de tipo exotérmico. Esta etapa puede comprobarse analíticamente ya que en el momento de mayor actividad microbiana se da una disminución de sólidos volátiles biodegradables.
- Curado: después de la etapa termófila, se desarrolla la llamada etapa de curado, cuya duración es de aproximadamente 30 días. Consiste en una marcada disminución de la temperatura, así como en la reducción de los niveles de consumo de oxígeno y en una baja producción de olores. Esta etapa provee una degradación adicional de tóxicos orgánicos.
- Secado y cribado: son etapas opcionales en el proceso de composteo, tiene como propósito la obtención de un material de mejor calidad. El secado es posterior a la estabilización, puede durar sólo algunos días. Es importante que al cribar la composta, se piense en reciclar el material de mayor tamaño.
- Reciclado del material: el material que es reciclado proviene de partículas gruesas, que permanecen en las mallas de la cribadora y puede ser utilizada como acondicionador.

2.3 Factores que influyen en el proceso de composteo

La estabilización de materia orgánica biodegradable, la eliminación de microorganismos patógenos y tóxicos metálicos y orgánicos, son las metas del composteo. Para alcanzar dichas metas se tiene que tomar en consideración varios factores, entre los cuales se incluyen: el porcentaje de humedad, sólidos, la relación carbono-nitrógeno (C:N), el nivel de oxígeno, el pH, la temperatura y los acondicionadores (Haug, 1979).

- Contenido de humedad y sólidos en la mezcla lodo-material vegetal: para asegurar un adecuado composteo, la mezcla lodo-material vegetal deberá tener un nivel de humedad no mayor del 60%. Si se rebasa el límite de humedad, los poros en la mezcla son ocupados por el agua lo cual interfiere en el paso del aire y evita la difusión de los gases producidos. Lo anterior a su vez provoca una descomposición incompleta, baja temperatura en el proceso y mal olor.

Por otra parte, aunque es poco frecuente, una mezcla con baja humedad (menor que 40%) puede inhibir también el proceso (Gray 1971, Poincelot 1975).

- Relación carbono-nitrógeno (C:N): la descomposición en la pila puede estar limitada por la cantidad de carbono y nitrógeno. La relación que se recomienda para el inicio del composteo es de 30:1 a 40:1. Una relación de C:N baja logra llevar a cabo el composteo pero durante el proceso hay pérdidas de nitrógeno por volatilización. Una alta relación (mayor que 50:1) provoca entorpecimiento del proceso porque no hay suficiente cantidad de nitrógeno, lo que imposibilita sostener la biomasa microbiana. La relación C:N del lodo crudo es de más o menos 15:1 y

puede elevarse al adicionar un acondicionar con suficiente carbón como sería el caso de la cascarilla de arroz o del material vegetal.

- Ventilación y oxigenación: uno de los factores que favorecen el composteo es el oxígeno disponible para los microorganismos que realizan la biotransformación. La deficiencia de este elemento provoca condiciones anaerobias y la estabilización incompleta de los materiales orgánicos. El oxígeno usado durante el composteo, por parte de los microorganismos, es sólo del 5 a 15% para llevar a cabo el proceso y poder elevar así la temperatura. Existen dos tipos de ventilación: la inyección y la succión.
- Potencial de hidrógeno (pH): el pH del lodo que va a ser composteado debe estar en un intervalo de 5 a 10 unidades. El composteo más eficiente se hace entre un pH de 6 a 8, ya que la mayor parte de los microorganismos tienen actividad y crecimiento óptimo en estos valores. Sin embargo, iniciar el proceso de composteo con pH extremos (por ejemplo de 5 a 11) sólo retardaría el proceso, alargándolo unos días, ello debido a que durante el composteo el valor de pH tiende a neutralizarse.
- Temperatura: el desarrollo de las poblaciones microbianas, que degradan la materia orgánica, depende de la velocidad de las reacciones químicas, las cuales a su vez están influidas por la temperatura y el tiempo. Por otra parte, una temperatura elevada, junto con alto grado de humedad, es uno de los métodos más efectivos para destruir patógenos. El calor húmedo mata las células porque coagula las proteínas que la constituyen y es más rápido y efectivo que el calor seco, el cual oxida sus constituyentes químicos.

En la etapa inicial del proceso de composteo se registran temperaturas entre 25 y 40 °C y predominan los microorganismos mesófilos.

En la etapa termófila, hay una mayor remoción de patógenos, si la temperatura no se controla, puede llegar hasta 80 °C y las poblaciones microbianas empiezan a decrecer.

- Capacidad de intercambio catiónico: es un indicador de la capacidad de retención de metales. Entre más grandes sea el valor de la capacidad de intercambio catiónico, más cationes tiende a retener.
- Acondicionador: es necesario agregar un acondicionador que proporcione estructura, porosidad y textura. Este debe tener resistencia y capacidad para absorber humedad. Además se requiere que proporcione suficiente carbono para aumentar la relación carbono:nitrógeno. Para la selección de un acondicionador debe considerarse tanto su disponibilidad como el costo del mismo. Al respecto, es recomendable enfocar la atención en aquellos desechos que produzcan grandes volúmenes, tales como padería de madera, bagazo de caña, cascarilla de arroz, desperdicios de la poda de árboles, olotes, composta sin cribar y carbón.

Cabe señalar que el presente trabajo se plantea utilizar como acondicionador el material vegetal proveniente de las áreas existentes en Ciudad Universitaria.

2.4 Monitoreo

Para obtener un producto de alta calidad y reducir el potencial de contaminación, es necesario el monitoreo del proceso de composteo.

En la siguiente tabla se enlistan los parámetros y a continuación se hacen algunos comentarios y recomendaciones para su control.

Tabla 5. Parámetros para monitoreo del proceso de composteo

PARÁMETROS	INTERVALO DE MONITORES
• Humedad	Al inicio y en caso de variar los materiales
• Temperatura	Diario
• Oxígeno	Opcional
• Patógenos, metales pesados y tóxicos orgánicos	Inicio para caracterización y cuando hay variaciones en los materiales
• Olor	Diario
• Estabilidad de la composta y nutrientes	Periódicamente como control de calidad

Dada la importancia de los parámetros arriba señalados, a continuación, se dará una breve explicación de los mismos.

- Contenido de humedad: cuando se trabaja en forma rutinaria, se debe tener una caracterización de la humedad de la mezcla inicial, para evitar la realización de análisis continuos. Sólo cuando hay cambios tanto en el todo como en los llamados acondicionadores, se recomienda realizar una nueva caracterización. Mensualmente se puede llevar a cabo un control de calidad en la mezcla e el producto final.

- Registro de temperatura: Burge (1979), propone un registro de temperaturas de 55°C por tres días consecutivos durante la etapa termofílica, para asegurar la destrucción total de organismos patógenos. Finstein (1987), sugiere que dichas temperaturas sean registradas en el curado. Ramírez (1991), establece la necesidad de un registro permanente, durante las etapas para asegurar una adecuada remoción.
- Concentración de oxígeno: el monitoreo de este parámetro es también un buen índice para el control de calidad. Las lecturas de concentración deberán de oscilarse entre 5 a 15%. Valores menores indican baja cantidad de oxígeno y mala distribución del aire. Este parámetro ayudará para definir, junto con los datos de temperatura, los ciclos de aireación.
- Análisis de nutrimento y contaminantes: los contaminantes se deben de analizar al inicio del sistema, en el lodo y acondicionadores, y eventualmente, cuando haya cambios en los materiales. En la composta se debe hacer una caracterización del contenido de contaminantes y nutrimentos, así como análisis periódicos de control de calidad. En la tabla 6, se muestran los parámetros fisicoquímicos y técnicos de análisis recomendadas para el control de un sistema de composteo.

Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos y técnicas de análisis recomendadas para el control de un sistema de composteo.

PARÁMETRO	MÉTODO
• Temperatura	Termopares
• Humedad y sólidos totales	Evaporación
• Sólidos volátiles	Ignición
• Potencial de hidrogeno (pH)	Electrodo
• Densidad	Método de la probeta
• Carbono orgánico	Walkley y Black
• Nitrógeno total	Kjeldahl
• Nutrientes: Ca ²⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ y P	Absorción atómica y floumetría
• Tóxicos orgánicos: plaguicidas, bifenilpoliclorados e hidrocarburos aromáticos	Cromatografía de gases

- Estabilidad de la composta: existen diferentes métodos para medir la estabilidad del producto, entre los cuales se pueden citar
 1. La medida de la respiración microbiana por medio de un respirómetro. Para tal efecto se mide la presión de oxígeno en una muestra de composta, y se evalúa la cantidad que es consumida por los microorganismos. La desventaja es que las lecturas se alteran cuando hay exceso de temperatura o humedad en la muestras. Estos factores afectan la actividad microbiana (Willson, 1986).
 2. La medida del efecto de la composta sobre el crecimiento y desarrolla de plantas.
 3. La relación carbono:nitrógeno es importante porque la composta puede ser utilizada en agricultura. Es también un indicador del comportamiento

del proceso. Si se ha conducido bien la reacción tendrá que reducirse, una relación baja es característica de una composta de alta calidad. La relación entre 6:1 ó 5:1 es considerada como indicadora de un material estable para una composta realizada con lodo (Hirai et al., 1988).

4. Porcentaje de sólidos volátiles (%SV). Es medido por ignición de la muestra a 500 °C, es ampliamente usado como medida inexacta del contenido de material orgánica. La actividad biológica origina la disminución del contenido de sólidos volátiles ya que convierte el carbono orgánico en CO₂. Si se toma su medida durante el período de degradación, dicho valor puede servir para evaluar esta actividad, sin embargo representa una medida inexacta.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): la descomposición aerobia disminuye la capacidad de la materia orgánica para reducir los oxidantes químicos, tales como el dicromato de potasio. Debido a eso el DQO podría servir para cuantificar el grado de descomposición de la materia orgánica. Sin embargo sus valores son inexactos ya que no hay una constante entre la DQO y el grado de putrefacción.
 - Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): se define como la cantidad del oxígeno consumido por los microorganismos mientras llevan a cabo la estabilización de la materia orgánica. Tiene la desventaja de requerir de cinco a veinte días, dependiendo de la naturaleza de la materia orgánica, un control de temperatura y agitación continua en ausencia de luz.

Tanto la DBO como la de DQO fueron desarrolladas para analizar, el contenido de materia orgánica en aguas residuales más que para muestras sólidas.

2.5 Dosis de composta recomendadas

La composta de lodos residuales puede ser utilizada en actividades agrícolas de jardinería y en viveros, así como en la recuperación de áreas erosionadas. Su uso sólo se encuentra restringido por la presencia de contaminantes que pueden afectar a la cadena alimentaria, lo que puede controlarse con la selección de cultivos y una dosificación adecuada del producto, de acuerdo a las características del suelo y a los nutrimentos requeridos por las plantas.

Experiencias en el uso de la composta en otros lugares revelan resultados positivos en varios usos como son, cultivos de pastos, arboles y plantas ornamentales (Willson, 1986).

Las plantas y césped producidos con composta de lodo desarrollan raíces más grandes. Adicionalmente son transportados con baja mortalidad y se venden más rápidamente que aquellos en los cuales se utiliza solamente fertilizante. Pueden observarse resultados sorprendentes cuando se emplea composta para la recuperación de suelos erosionados y en la reforestación.

En las tablas 7(a), 7(b) y 7(c) se muestran porcentajes para la aplicación de composta, para césped, pastos forrajeros y cultivos ornamentales.

Tabla 7 (a). Usos y dosis de aplicación de la composta de lodo residual para obtener beneficios, fertilizantes y acondicionadores.

Uso	kg/ m2	Recomendaciones
<u>CÉSPED</u>		
Establecimiento: Preparación de mezclas con suelo.	9.7 - 29.2	A 15 cm usar una dosis mínima cuando el suelo es fértil. Máxima en suelos poco fértiles.
Preparación: Capa superficial de suelo.	2.9 - 3.4	Esparcir uniformemente en la superficie antes de sembrar las semillas de pasto, cuando estás son pequeñas y encima al ser grandes.
Mantenimiento:	1.9 - 3.8	Esparcir uniformemente en la superficie. En otoño aplicar dosis altas y bajas en primavera.
<u>PRODUCCIÓN DE CÉSPED</u>		
Incorporada	14.6 - 29.2	Incorporar con una capa de suelo de 10 a 15 cm.
No incorporada	29.2 - 87.7	Aplicar uniformemente a la superficie. Regar para la germinación.
Establecimiento	4.8 - 14.6	Incorporar dentro de la superficie 1 ó 2 semanas antes de la plantación.
Mantenimiento	4.8	Una o 2 semanas antes de la plantación.

(Willson, 1980)

Tabla 7(b). Usos y dosis de aplicación de la composta de lodo residual para obtener beneficios, fertilizantes y acondicionadores.

Uso	Ton/ m2	Recomendaciones
<u>PASTOS FORRAJEROS</u>		
Establecimiento:	195 - 341	Incorporar en una capa de suelo de 10 a 15 cm. Usar una dosis máxima cuando el suelo es poco fértil.
Mantenimiento:	48 - 63	Esparcir uniformemente sobre la superficie en el otoño y cada año después de la primera aplicación.

(Willson, 1980)

Tabla 7(c). Usos y dosis de aplicación de la composta de lodo residual para obtener beneficios, fertilizantes y acondicionadores.

Uso	Ton/ m2	Recomendaciones
<u>CULTIVOS DE SEMILLERO Y ORNAMENTALES</u>		
Mantenimiento de la plantación.	45	Incorporar a una capa de suelo de 15 cm. Usar una dosis máxima sólo cuando se desea un crecimiento rápido en la etapa de establecimiento de la plantación.
	136 - 317	Colocar la composta sobre la superficie de suelo después de la siembra. (La composta cribada es más efectiva)

(Willson, 1980)

2.6 Definición de abonos

Los abonos o fertilizantes son productos destinados a la alimentación de las plantas. Los abonos son sustancias que se aplican directamente o indirectamente, para:

- Favorecer el crecimiento
- Aumentar la producción
- Mejorar la calidad
- Mejorador de suelos

2.7 Indicación de la riqueza de los abonos

Para especificar la riqueza de los abonos existen diversas posibilidades (Tabla 8). En el caso de los abonos, los cuales contienen fundamentalmente sustancias nutritivas para las plantas, la base de referencia esencial ha de ser indicación del contenido de sustancias nutritivas.

De esta forma puede contarse con un común denominador para los numerosos materiales fertilizantes con un mismo elemento nutritivo, puede ser utilizado, por ejemplo, el contenido de nitrógeno como base para indicar la riqueza de todas las materias nitrogenadas.

En caso de los abonos orgánicos, la base de referencia que conviene utilizar es la indicación de la materia orgánica, ya que lo fundamental es precisamente el aporte de compuestos orgánicos y no, por ejemplo, el aporte de carbono (C).

Tabla 8. Riqueza de abonos

Parámetros utilizados hasta ahora	Caracterizaciones actuales, que se imponen internacionalmente
N (nitrógeno)	N (nitrógeno)
P ₂ O ₅ (pentóxido de fósforo)	P (fósforo)
K ₂ O (óxido de potasio)	K (potasio)
MgO (óxido de magnesio)	Mg (magnesio)
Ca (calcio)	Ca (calcio)

2.8 Clasificación de los abonos

Existe un gran número de materiales utilizados como abonos; sus composiciones son muy diversas y sus posibilidades de utilización son múltiples. Debido a esta multiplicidad de los materiales fertilizantes es difícil construir un sistema de clasificación que contenga adecuadamente todos estos puntos de vista. Por eso, existen diferentes formas de clasificarlos:

- Clasificación según la forma de obtención:
 1. Abonos naturales: son aquellos que se han formado por medios naturales y que se utilizan sin ningún tipo de transformación, o con una transformación muy ligera; por ejemplo, el estiércol (fresco o descompuesto), la turba, el follaje, el lodo, la ceniza, las hojas y el pasto.
 2. Abonos artificiales: (abonos sintéticos) son producidos en fábricas por transformación química de productos naturales (p. ej., los abonos P y K).

- Clasificación según su forma de actuar:
 1. Los abonos de efecto directo contienen proporciones importantes de sustancias nutritivas para las plantas, a este grupo pertenecen, la mayor parte de los abonos comerciales N, P y K, también el estiércol líquido y semilíquido.
 2. Los abonos de efectos indirectos (enmiendas del suelo) mejoran sobre todo el sustrato nutritivo (en la agricultura; el suelo; en la horticultura el sustrato de cultivo); también tiene una cierta importancia como fuente nutritiva. Los materiales cálcicos la turba y la paja son algunos ejemplos de los abonos pertenecientes a ese grupo.

- Clasificación según la velocidad de efecto:
 1. Abonos de efecto rápido: ponen rápidamente a disposición de las plantas sustancias nutritivas (p.ej., los abonos solubles de N y K), o mejoran el suelo en un corto espacio de tiempo.
 2. Los abonos de efecto lento sólo actúan una vez descompuestos en el suelo, lo cual puede ser una ventaja o un inconveniente, según el objetivo que se persiga.

- Clasificación según el tipo de compuesto químico:
 1. Abonos orgánicos principalmente formados por carbono.
 2. Abonos inorgánicos que comprenden sales y óxidos.

- Clasificación según el número de elementos nutritivos:

1. Los abonos simples son aquellos que contienen un solo elemento nutritivo importante
2. Los abonos compuestos son aquellos que contienen varios elementos nutritivos; pueden distinguirse abonos de dos, tres, y hasta 6 elementos.

- Clasificación según el estado de agregación.

Según el aspecto físico pueden distinguirse los siguientes abonos:

1. abonos sólidos
2. abonos líquidos (soluciones y suspensiones)
3. abonos gaseosos (p. ej., gas amoniac)

En las tablas 9 y 10 se muestran diferentes clasificaciones de los abonos.

2.9 Efectos de los abonos orgánicos sobre el crecimiento de las plantas.

A. Influencia de las sustancias húmicas sobre las propiedades físicas del suelo.

- El humus mejora la estructura del suelo.

1. Directamente, esponjando los suelos pesados con las voluminosas partículas de humus.
2. Indirectamente mejorando la textura producida por los organismos vivos en el o por medio de ácidos húmicos.

Tabla 9. Clasificación de los abonos desde el punto de vista químico-agrícola

Clasificación desde el punto de vista químico-agrícola	
I.	Abonos minerales
A.	Abonos minerales que sirven para el abono de sustancias nutritivas.
1.	Abonos con elementos principales
a)	abonos simples
b)	abonos con dos elementos
c)	abonos compuestos (de tres o más elementos)
2.	Abonos con oligoelementos
a)	abonos con un oligoelemento determinado
b)	abonos con varios oligoelementos
3.	Abonos con elementos principales y oligoelementos
4.	Otros abonos minerales con sustancias importantes para las plantas, los animales o el hombre.
B.	Enmiendas minerales para mejorar los suelos.
1.	Enmiendas para corregir el pH del suelo
2.	Enmiendas para mejorar la estructura del suelo
3.	Enmiendas contra residuos tóxicos
4.	Otras enmiendas para mejorar el suelo
II.	Abonos orgánicos
1.	Abonos orgánicos de explotaciones agrarias
2.	Abonos orgánicos comerciales
3.	Abonos organo-minerales comerciales
4.	Abonos en materias activas
III.	Otros abonos
	Por ejemplo, dióxido de carbono

(Finck, 1988)

Tabla 10. Abonos orgánicos comerciales

	TIPO DE ABONO	MATERIAL ORGÁNICO DE PARTIDA	COMPONENTES ACTIVOS
Abonos orgánicos	Abonos orgánicos	Turba, residuos orgánicos, harina de huesos	30- 50 mat. orga. 5-14% N 13% P
	Abonos NP orgánicos	Mezcla de huesos de animales	4-10% N 2-10% P
	Abonos NPK orgánicos	Gusanos y residuos de animales	4-6% N 4-6% P 2% K
	Abonos orgánico-minerales	Abonos mezclados orgáno-minerales	Basuras urbanas, lodos de decantación, residuos animales y vegetales
Abonos orgánico-minerales	Mezcla con turba	Turba blanca o negra	Más del 35% de mat. org. (aprox. 1-3% de N, P, y K)
	Abonos N orgáno-minerales	Lignina (madera)	15-19% N
	Abonos NP orgáno-minerales	Residuos de animales y vegetales	6% N, 3-4% P
	Abonos NPK orgáno-minerales		

(Finck, 1988)

- El humus eleva la capacidad de retención del agua en el suelo.

1. Por enlace del agua con la sustancia orgánica

2. Al mejorar la estructura del suelo

- El humus mejora la aireación (una buena estructura significa poros de mayor tamaño) y consiguiente:

1. El suministro de oxígeno en las raíces

2. La eliminación del anhídrido carbónico de la zona radical

- El humus eleva la temperatura del suelo.

1. Directamente, por su color oscuro que mejora la absorción de calor por parte del suelo.

2. Indirectamente, mejorar la estructura, pues de esta forma se elimina más rápidamente el exceso de agua en la primavera, y esto trae como consecuencia un calentamiento más rápido.

B. Efecto del humus sobre las propiedades químicas del suelo.

1. Almacena en su superficie nutrientes en forma intercambiable.

2. Suministra nutrientes y energía.

3. ESTRATEGIA DE TRABAJO

Para poder definir una metodología experimental fue necesario realizar pruebas preliminares para la selección de parámetros y técnicas que dieran solución al problema planteado.

Se realizaron dos pruebas preliminares del proceso de composteo, una en forma aerobia y otra de tipo anaerobia. En ambos casos se emplearon mezclas 1:1 en volumen de lodo:materias vegetales. Se seleccionó este porcentaje de mezcla debido a que los volúmenes generados de ambos residuos, en Ciudad Universitaria son similares, por lo que se parte de la idea de poderlos mezclar en la misma proporción, es decir sin dar preferencia a uno sobre el otro.

En el primer ensayo se colocó (un litro de lodo biológico residual con un litro de materia vegetal) la mezcla en pequeños contenedores que permitieran el paso del aire a su interior, con la finalidad de comparar cualitativamente a un mismo tiempo, la evolución y características de la reacción de descomposición en ambos procesos.

En un segundo ensayo se evaluó el proceso de degradación aerobia y anaerobia de el lodo, materia vegetal y mezcla a través de pruebas de biodegradabilidad. Las cuales permitieron cuantificar el grado de descomposición de la materia orgánica monitoreando la generación de subproductos o bien el consumo de sustrato.

Con estos ensayos preliminares se obtuvo información para diseñar la parte experimental del presente trabajo, la cual generó datos más precisos que

ayudaron a evaluar las ventajas y desventajas de ambos procesos en la elaboración de composta.

A continuación se muestra con detalle cada uno de los ensayos preliminares realizados, así como los resultados obteniendo de estos.

ENSAYOS PRELIMINARES

⇒ PRIMER ENSAYO (COMPOSTA TRADICIONAL)

Inicialmente se montaron cuatro reactores para realizar pruebas preliminares que nos ayudaran a determinar el comportamiento del proceso de composteo.

- Características del reactor

Se trabajó en un reactor hecho de plástico, tipo silo (cilíndrico), con una altura de 30 cm y un diámetro de 20 cm. Con una capacidad de tres litros. Cada reactor contenía una mezcla de lodo:material vegetal en una porción de 1:1 en volumen; un pH = 7 y a temperatura ambiente promedio de 22°C. Cada uno con las siguientes características:

Reactor 1: Cerrado (Anaerobio)

Reactor 2: 10% de aireación (Aerobio)

Reactor 3: 20% de aireación (Aerobio)

Reactor 4: 40% de aireación (Aerobio)

La mezcla de lodo: material vegetal fue aireado por medio de una tubería perforada, que permitía el paso del aire al interior del reactor y estaba en contacto con dicha mezcla. Por este orificio se permitía la salida de dióxido de carbono formado durante la descomposición del material en reacción (Figura 11).

Después de dos semanas de experimentación, se observaron distintos comportamientos en los reactores. Para el caso del reactor 1 hubo generación de gas. En los reactores 2, 3 y 4 las características variaban en color, olor y consistencia. En el reactor 4, la mezcla estaba más seca; el olor era el menos desagradable y su color era más oscuro que en los otros dos. Por lo que concluimos que era necesario realizar una experimentación para evaluar la degradación presente en la mezcla. Y así poder determinar las condiciones de composteo más óptimas para: lodos residuales y material vegetal en el caso de un proceso aerobio y anaerobio.

⇒ SEGUNDO ENSAYO (PRUEBAS DE BIODEGRADACIÓN EN AMBIENTE AEROBIO Y ANAEROBIO)

Para la realización de este tipo de pruebas se tomaron en cuenta las indicaciones señaladas en la literatura especializada sobre el tema (OECD, 1992), se tomó para la realización de los mismos lodo biológico del sedimentador secundario de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria, y material vegetal proveniente de los jardines. El material vegetal se trituro y posteriormente se tamizó en una malla de 2 mm de diámetro. Con ambos tipos de materiales se hizo un solo lote, el cual se dividió equitativamente para evaluar su biodegradación tanto aerobiamente como anaerobiamente. Ver figuras 12 y 13.

REACTORES PARA COMPOSTA EMPLEADOS COMO EXPERIMENTACIÓN PRELIMINAR EN UN PROCESO AEROBIO Y ANAEROBIO

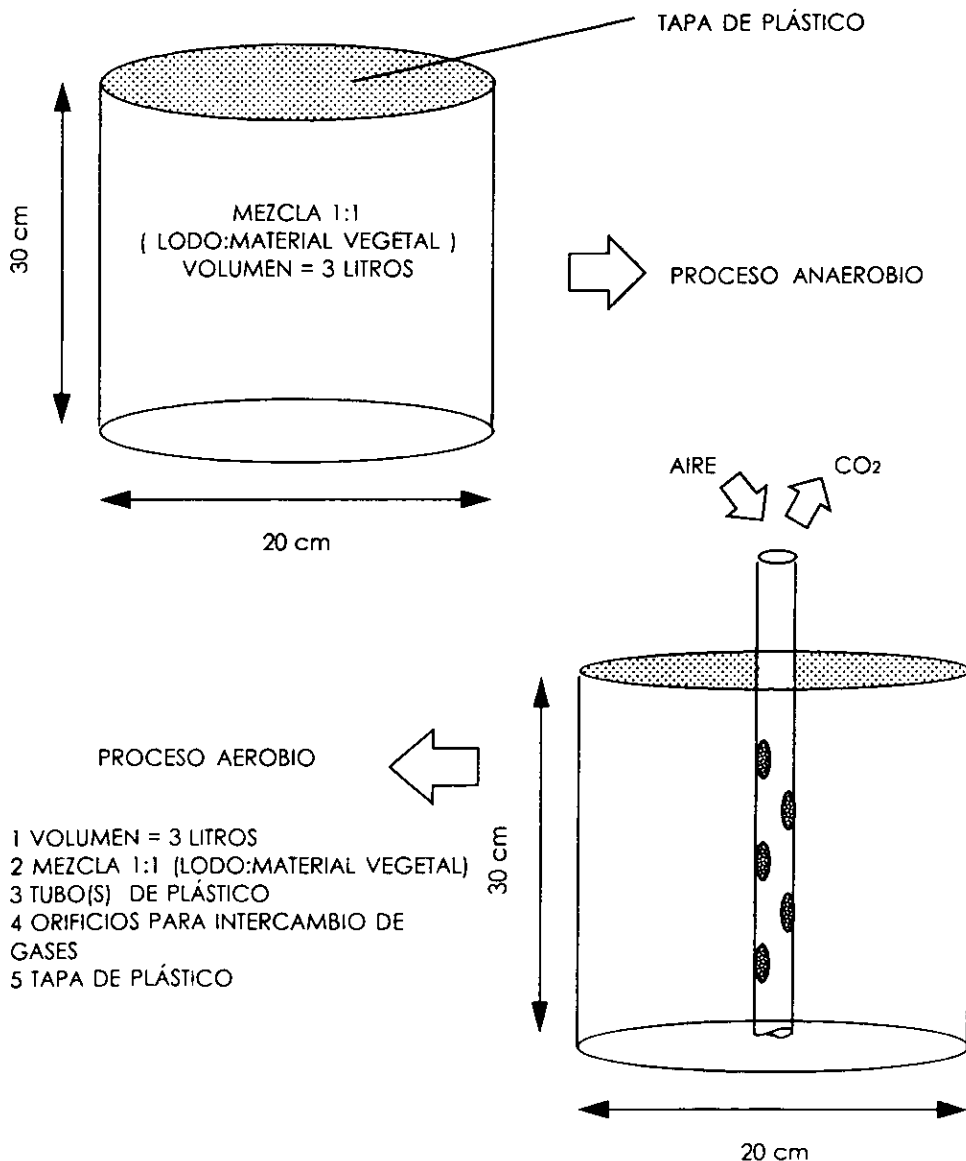


Figura 11. Características del reactor

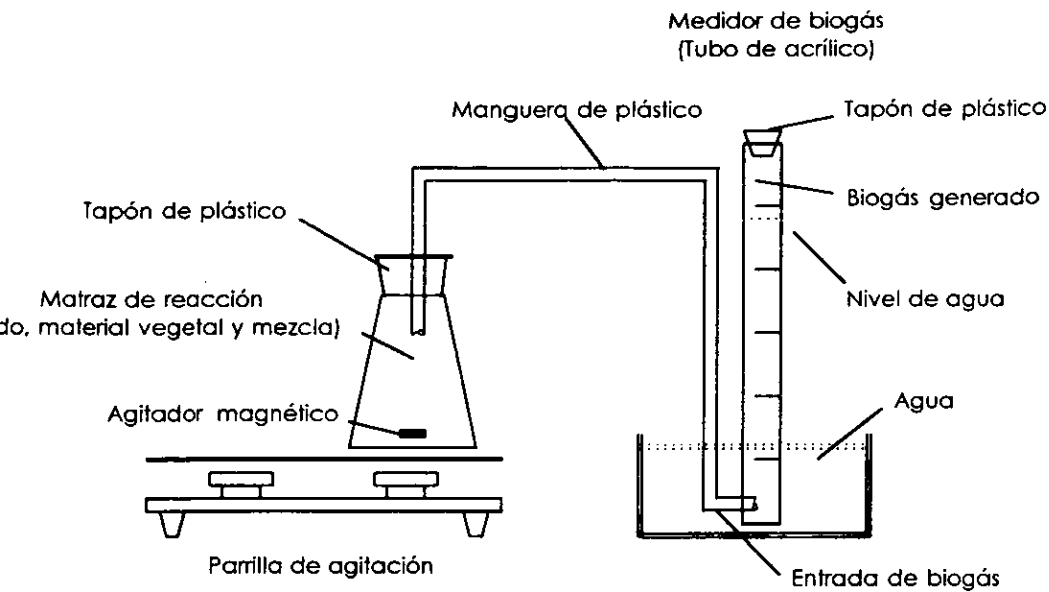


Figura 12. Proceso anaerobio

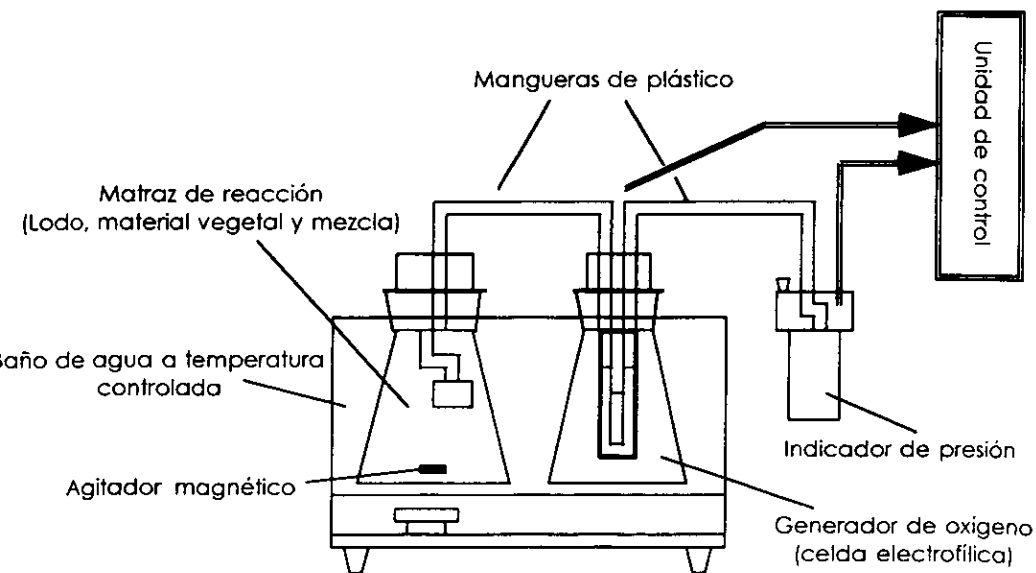


Figura 13. Proceso aerobio

- PROCESO AEROBIO

Se utilizó el equipo VOITH - Sapromat B-12 (Anexo 2), (con agitación permanente, a una temperatura de 20°C). Colocando dos matraces con material vegetal, dos con lodo residual y dos matraces con una mezcla 1:1 en volumen de los dos anteriores. Se monitoreo diariamente la cantidad de oxígeno consumido en estos matraces.

- PROCESO ANAEROBIO

Se montaron seis matraces con agitación permanente (Anexo 2) y temperatura ambiente con los mismos volúmenes del proceso aerobio. Estos matraces fueron envueltos en papel aluminio para evitar la actividad fotosintética y el consecuente aporte de oxígeno. Se monitoreó diariamente el volumen de gas producido.

3.1 Operación y monitoreo del proceso aerobio y anaerobio

Basados en las pruebas de biodegradabilidad internacionales se realizó el experimento con un mes de duración. Se tomaron muestras al inicio, 14 días y 28 días, a las cuales se les realizaron análisis fisicoquímicos complementarios (OECD, 1992).

De acuerdo a los valores mostrados en la tabla 11 se puede observar que el alto valor de sólidos volátiles indica que es un desecho con alta biodegradabilidad, el pH es neutro por lo cual puede ser aplicado en el proceso de composteo.

Tabla 11. Características iniciales de los materiales utilizados en el proceso de composteo

PARÁMETRO	LODO	MAT.VEGETAL	MEZCLA 50/50
• pH unidades	7	7	7
• DQO mg/L	168	1676	1529
• STT mg/L	11600	716296	161303
• SVT mg/L	2482	54693	15005
• SFT mg/L	9118	661603	146298
• %STT	1.1	75.7	16.4
• %SVT	78.5	92.4	90.7
• %SFT	21.5	7.7	9.3

3.2 Resultados de la experimentación preliminar

Las tablas 12, 13, 14 y 15 y las figuras 14 y 15 muestran la información obtenida, al realizar la corrida experimental preliminar aplicada en ambos procesos a diferentes tiempos (inicio, 14 días y 28 días).

En estas se puede observar el comportamiento que presenta cada uno de los parámetros analizados durante cada proceso (aerobio y anaerobio), haciendo posible establecer las ventajas, desventajas y diferencias que cada uno de ellos presenta, al llevar acabo las pruebas de biodegradabilidad. Esta información hizo contemplar los posibles errores experimentales que se tienen al aplicar las técnicas de análisis.

Tabla 12. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla en un proceso anaerobio en la 2a. semana de experimentación preliminar.

PARÁMETRO	LODO	MATERIAL VEGETAL	MEZCLA 50/50
pH unidades	6.41	5.23	4.7
DQO mg/L	84	72	610
Biogás ml/250 ml	22	190	130
STT mg/L	7170	571830	140100
SVT mg/L	2270	61320	13630
SFT mg/L	4900	510510	126470
%STT	1	61	14
%SVT	68	89	90
%SFT	32	11	10

Tabla 13. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla en un proceso aerobio en la 2a. semana de experimentación preliminar.

PARÁMETRO	LODO	MATERIAL VEGETAL	MEZCLA 50/50
pH unidades	7.82	5.43	6.03
DQO mg/L	-390	300	490
O ₂ consumido mg/L	2250	2080	2000
STT mg/L	9380	791000	162210
SVT mg/L	2830	68500	15790
SFT mg/L	6550	722500	146420
%STT	0	85	16
%SVT	70	91	90
%SFT	30	9	10

Tabla 14. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla en un proceso anaerobio en la 4a. semana de experimentación preliminar.

PARÁMETRO	LODO	MATERIAL VEGETAL	MEZCLA 50/50
pH unidades	6.79	5.05	4.58
DQO mg/L	270	240	180
Biogás mL/250 mL	90	260	150
STT mg/L	100940	784200	149900
SVT mg/L	1640	64950	14890
SFT mg/L	99300	719250	134980
%STT	10	84	15
%SVT	98	92	90
%SFT	2	8	10

Tabla 15. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla en un proceso aerobio en la 4a. semana de experimentación preliminar.

PARÁMETRO	LODO	MATERIAL VEGETAL	MEZCLA 50/50
pH unidades	6.32	5.84	5.27
DQO mg/L	240	600	24
O ₂ consumido mg/L	3380	2390	2230
STT mg/L	211690	792630	160850
SVT mg/L	2450	117320	18090
SFT mg/L	209240	675320	142760
%STT	21	90	16
%SVT	99	85	89
%SFT	1	15	11

Volumen de biogás producido

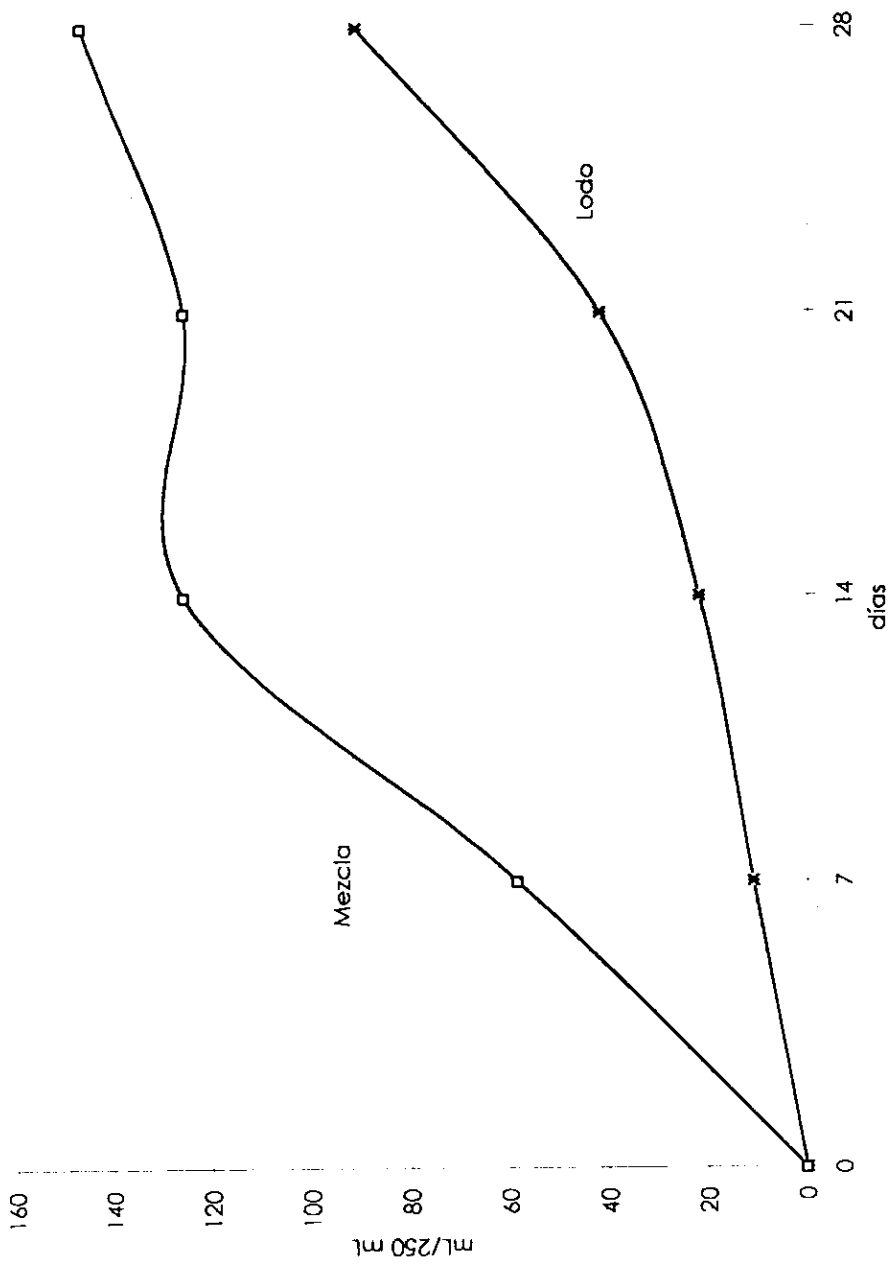


Figura 14. Producción de biogás a partir de lodo y mezcla (lodo:material vegetal)

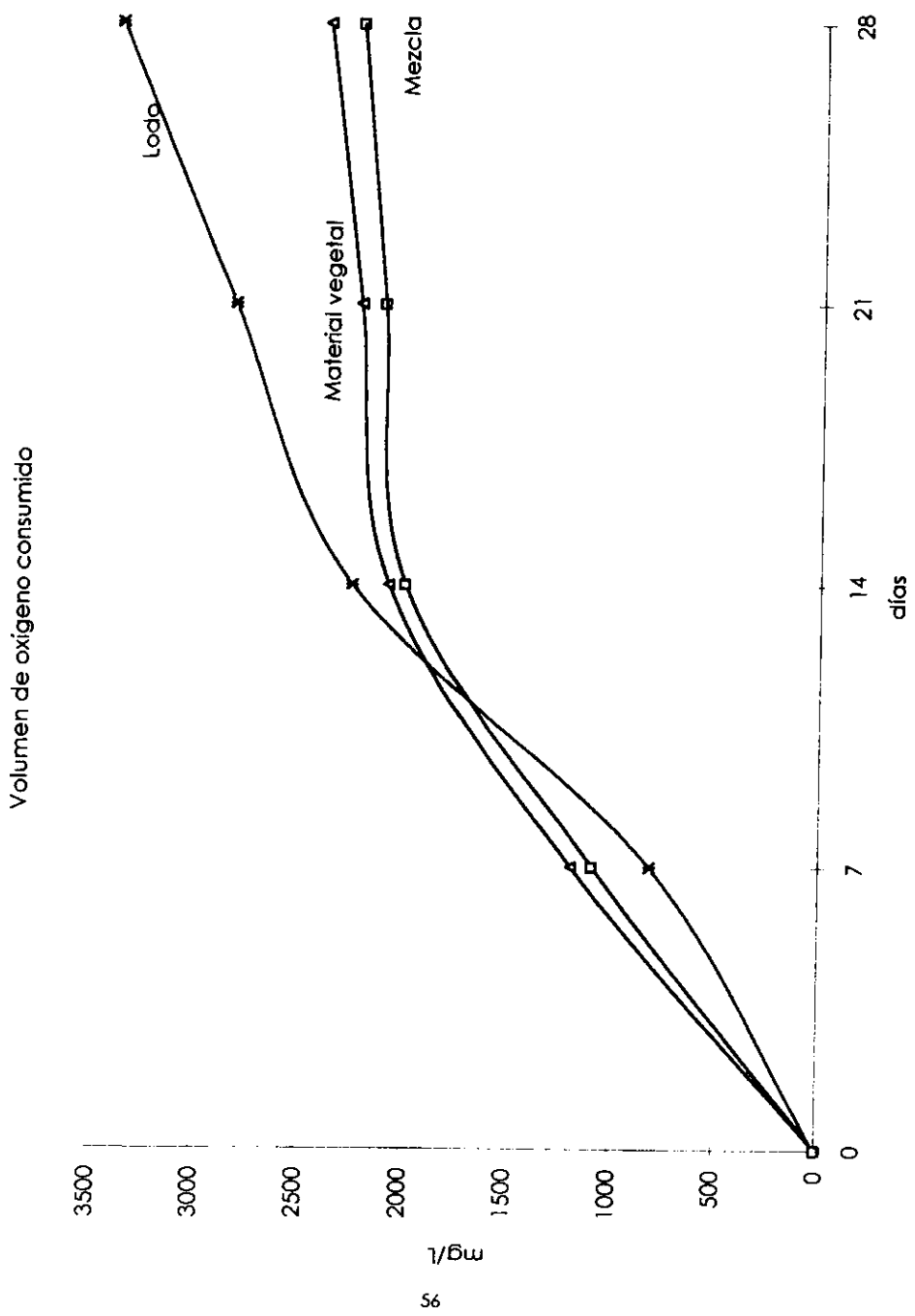


Figura 15. Oxígeno consumido en la degradación aerobia de lodo, material vegetal y mezcla 1:1 de ambos.

4. PARTE EXPERIMENTAL

Con la información obtenida de la experimentación previa se procedió al diseño de la fase experimental que a continuación se detalla en la figura 16.

4.1 Muestreo

Se tomó el lodo del sedimentador secundario de la Planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria (Anexo 1). El lodo se guardó en un bote de plástico de boca ancha con tapa, y fue almacenado en un cuarto frío a una temperatura de 4 °C hasta su uso.

El material vegetal fue obtenido del vivero Bajo, formado por una mezcla de hojas, ramas y pasto. La muestra se trituró mecánicamente y se tamizó a través de una malla de 2 mm de diámetro.

4.2 Pretratamiento

Las condiciones físicas del lodo biológico residual y el material vegetal fueron ajustadas para poder realizar los análisis fisicoquímicos correspondientes (Anexo 3). Por su parte el lodo fue decantado, mientras el material vegetal se trituró, secó al aire y tamizó.

4.2.1 Trituración

El material vegetal fue molido, lo cual redujo su volumen facilitó su manejo y permitió la obtención de una mezcla homogénea.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL EMPLEADO PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOSTA MEDIANTE UN PROCESO AEROBIO Y ANAEROBIO

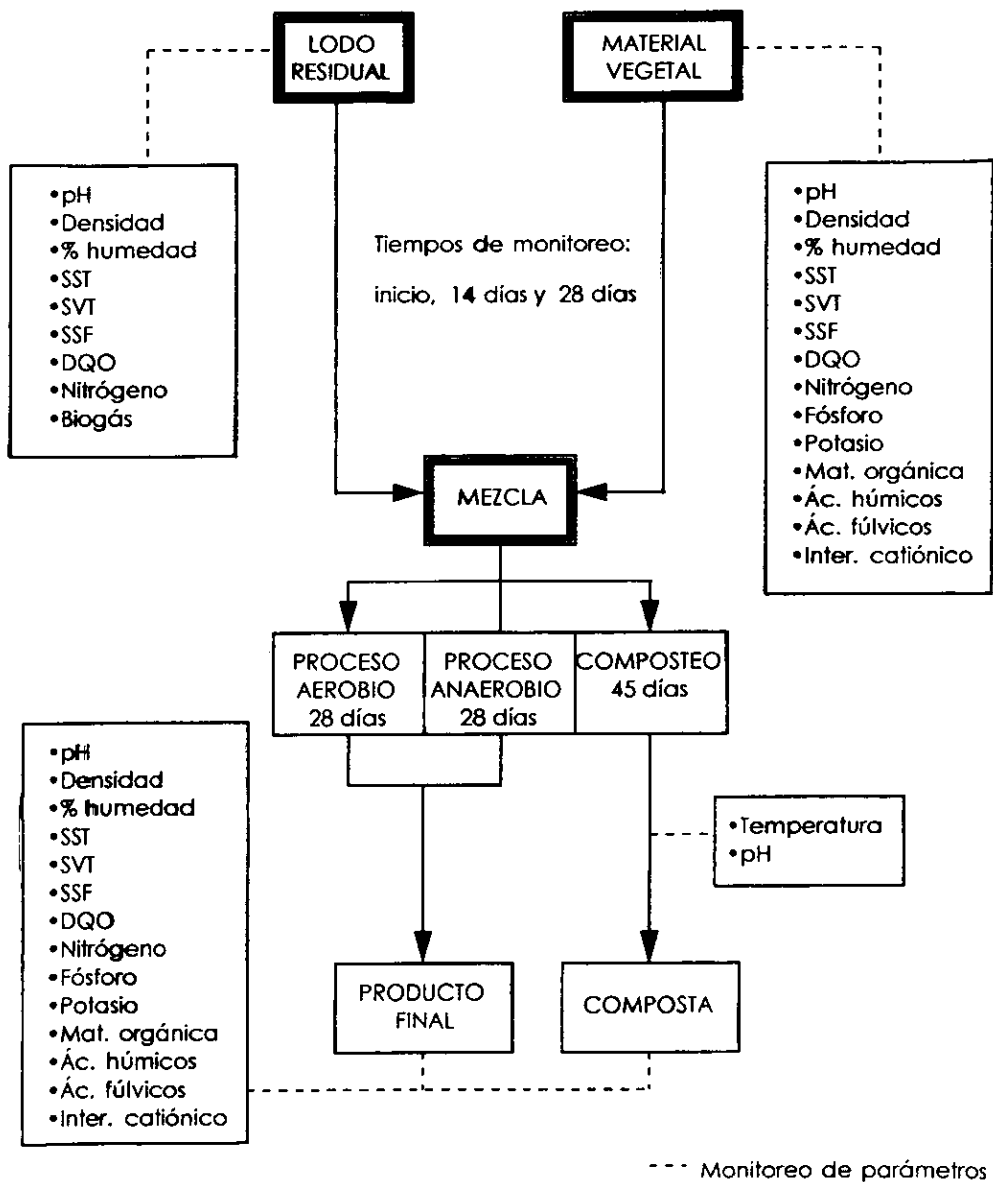


Figura 16. Descripción de la parte experimental

4.2.2 Secado al aire

Antes de proceder a los análisis, la muestra de material vegetal se dejó secar al aire libre y a temperatura ambiente durante un mínimo de 24 horas, ya que en el campo los suelos poseen grados muy diferentes de humedad. Los resultados analíticos se refieren al peso de muestra secada al aire libre.

4.2.3 Tamizado

Agronómicamente solo tienen verdadero interés las partículas que tienen un tamaño inferior a 2 mm de diámetro medio, en cuya superficie se verifica casi la totalidad de las reacciones del suelo. Por ello, las muestras se tamizaron, antes de analizarlas.

4.2.4 Decantado

El lodo se dejó en reposo durante un periodo de 24 horas para lograr el asentamiento de éste, y poder eliminar el exceso de agua que contenía al ser extraído del sedimentador secundario. Para sacarlo, se inclinó suavemente el depósito, evitando su agitación, extrayendo el lodo utilizando una pipeta.

4.3 Montaje del equipo

Se realizaron dos procesos, uno por medio de la respiración aerobia utilizando el equipo VOITH - Sapromat B-12. Y el segundo llevado a cabo por proceso anaerobio con agitación (Anexo 2). Con un tiempo de duración de un mes.

4.3.1 Proceso aerobio

En el equipo VOITH - Saproimat B-12, se colocaron muestras de lodo solo, material vegetal solo y mezcla (lodo: material vegetal 1:1) por duplicado, con una temperatura de 25 °C y agitación constante durante un mes. Con la finalidad de medir la cantidad de oxígeno que cada una de estas muestras consume y obtener así la cantidad de materia orgánica degradada.

4.3.2 Proceso anaerobio

En esta fase experimental se colocaron muestras de lodo solo, material vegetal solo y mezcla (lodo:material vegetal 1:1) por duplicado en reactores con agitación, perfectamente cerrados y aislados de la luz para evitar el efecto de fotosíntesis, durante un mes, monitoreando la cantidad de biogás generado.

4.3.3 Proceso de composteo

Se utilizó un contenedor de 0.5 m³ de volumen al que se le agregó una capa de 10 cm aproximadamente de material vegetal, posteriormente se esparció el lodo sobre esta y así sucesivamente hasta llenar ¾ partes del recipiente. Se realizaban volteos del material cada tercer día para aumentar la aireación de la misma facilitando el suministro de oxígeno y extrayendo el exceso de calor producido por las reacciones de oxidación biológicas. Tomando lecturas de temperatura durante los dos meses de experimentación.

4.4 Análisis físicos y químicos

Para los análisis físicos y químicos de rutina se tomaron como base las técnicas de análisis de suelo (tales como: pH, % por ciento de humedad, densidad, entre otros), ya que el material vegetal seco y la composta presentaron una consistencia semejante a la de ellos. Por otro lado, en la revisión de literatura relacionada a los métodos de análisis, había una coincidencia para tal fin. Los análisis se realizaron por duplicado y con un blanco o testigo.

4.4.1 Técnicas de análisis

Se seleccionaron los siguientes parámetros para análisis de las muestras (Tabla 16), de acuerdo a las características que deben presentar una composta destinada a plantas de ornato. En este caso la bibliografía no recomienda la determinación de metales pesados.

La materia orgánica de los suelos influye decisivamente en sus propiedades físicas y químicas; su determinación es de importancia primordial para la evaluación de la fertilidad. Así mismo, es importante conocer cual es el estado de dicha materia orgánica, sobre todo su grado de humificación. La relación C:N es un índice del grado de humificación, pero, si se quiere tener un conocimiento más completo, se debe recurrir a su extracción y fraccionamiento.

La capacidad de cambio catiónico es una característica del suelo que depende de su composición química, fundamentalmente de las arcillas y de la materia orgánica. Su interés reside en que es el factor que determina la posibilidad de retener un depósito de cationes nutritivos, susceptibles de

ser cedidos a la solución salina del suelo a medida que son sustraídos de ésta por la planta.

Tabla 16. Parámetros fisicoquímicos y técnicas de análisis

PARÁMETROS	TÉCNICAS
• pH	Potenciómetro
• Densidad	Densímetro
• Intercambio catiónico	Método de cloruro bórico-trietanolamina
• % Humedad	Evaporación
• SST	Evaporación
• SVT	Ignición
• SSF	Ignición
• DQO	Micro
• Biogás	Cromatografía
• Nitrógeno	Kjeldahl
• Fósforo	Prueba de Bray y Kurtz
• Potasio	Flamométrico
• Materia orgánica	Método de Walkey y Black

Se realizaron los análisis de estos parámetros, para el proceso de biodegradación aerobio y anaerobio en tres diferentes tiempos experimentales: inicio, 14 días y 28 días. Para el proceso de composteo se caracterizaron la mezcla inicial y al producto final.

5. RESULTADOS

5.1 Características fisicoquímicas iniciales de los materiales empleados

En la tabla 17 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados para el lodo, material vegetal y mezcla en un proceso anaerobio y aerobio al inicio de la experimentación.

Tabla 17. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla al inicio del experimento.

PARÁMETROS		LODO	MATERIAL VEGETAL	MEZCLA 50/50
pH	unidades	7	6.2	6.5
DQO	mg / L	540	3520	500
Biogás	mL /250 mL	0	0	0
STT	mg / L	9900	424880	838940
SVT	mg / L	3010	39210	76070
SFT	mg / L	6900	385660	762870
% STT		1	46	91
% SVT		70	81	91
% SFT		30	19	9
Densidad	g / L	990	990	990
% Humedad		99	15	82
Nitrógeno	mg / L	620	0.216 *	1340
Fósforo	mg / L		5	9
Potasio	mg / L		84	95
% Ácido húmico			15	12
% Ácido fúlvico			8	5
% Materia orgánica total			15	17
Intercambio catiónico	meq / 100 g		161	149

* NOTA: Los resultados se reportan en % de nitrógeno total.

5.2 Resultados fisicoquímicos durante el período experimental para los procesos anaerobio y aerobio.

En las tablas 18 y 19 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados para el lodo, material vegetal y mezcla en un proceso anaerobio y aerobio a las dos semanas de experimentación.

Tabla 18. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla en un proceso anaerobio en la 2a. semana de experimentación.

PARÁMETROS		LODO	MATERIAL VEGETAL	MEZCLA 50/50
pH	unidades	6.43	5.77	4.48
DQO	mg / L	1160	1160	2410
Biogás	mL / 250 mL	9	0	67
STT	mg / L	2110	846660	133830
SVT	mg / L	250	49990	22900
SFT	mg / L	1860	796670	110940
% STT		0.21	89	14
% SVT		88	94	82
% SFT		12	6	18
Densidad	g / L	990	990	990
% Humedad		100	16	85
Nitrógeno	mg / L	290	0.240*	1660
Fósforo	mg / L		33	11
Potasio	mg / L		96	85
% Ácido húmico			14	7
% Ácido fúlvico			10	7
% Materia orgánica total			21	28
Intercambio catiónico	meq / 100 g		154	13

* NOTA: Los resultados se reportan en % de nitrógeno total.

Tabla 19. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla en un proceso aerobio en la 2a. semana de experimentación.

PARÁMETROS		LODO	MATERIAL VEGETAL	MEZCLA 50/50
pH	unidades	6.9	6.0	5.0
DQO	mg / L	2480	710	1360
O ₂ consumido	mg / L	2660	150	1340
STT	mg / L	6560	431720	855760
SVT	mg / L	1630	26650	50760
SFT	mg / L	4930	405070	805000
% STT		1	46	90
% SVT		75	82	94
% SFT		25	18	6
Densidad	g / L	990	990	990
% Humedad		99	16	90
Nitrógeno	mg / L	440	0.410*	1020
Fósforo	mg / L		23	13
Potasio	mg / L		94	31
% Ácido húmico			7	6
% Ácido fúlvico			8	6
% Materia orgánica total			31	33
Intercambio catiónico	meq / 100 g		195	165

* NOTA: Los resultados se reportan en % de nitrógeno total.

En las tablas 20 y 21 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímico analizados para el lodo, material vegetal y mezcla en un proceso anaerobio y aerobio a las cuatro semanas de experimentación.

Tabla 20. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla en un proceso anaerobio en la 4a. semana de experimentación.

PARÁMETROS		LODO	MATERIAL VEGETAL	MEZCLA 50/50
pH	unidades	6.5	5.6	4.8
DQO	mg / L	3100	1300	1450
Biogás	mL / 250 mL	32	0	136
STT	mg / L	6200	851280	163520
SVT	mg / L	2050	68070	12870
SFT	mg / L	60560	783210	150650
% STT		6	91	17
% SVT		82	92	92
% SFT		18	8	8
Densidad	g / L	990	990	990
% Humedad		99	17	82
Nitrógeno	mg / L	340	0.24*	1060
Fósforo	mg / L		49	19
Potasio	mg / L		97	94
% Ácido húmico			15	6
% Ácido fúlvico			9.0	5
% Materia orgánica total			15	28
Intercambio catiónico	meq / 100 g		23.0	19.0

* NOTA: Los resultados se reportan en % de nitrógeno total.

Tabla 21. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al lodo, material vegetal y mezcla en un proceso aerobio en la 4a. semana de experimentación.

PARÁMETROS		LODO	MATERIAL VEGETAL	MEZCLA 50/50
pH	unidades	6.8	5.9	4.9
DQO	mg / L	2570	1270	1210
O ₂ consumido	mg / L	3300	180	1550
STT	mg / L	6750	847040	187060
SVT	mg / L	2360	88100	13080
SFT	mg / L	4390	758940	173990
% STT		1	93	19
% SVT		65	90	93
% SFT		35	10	7
Densidad	g / L	990	990	990
% Humedad		99	15	82
Nitrógeno	mg / L	410	0.060*	1150
Fósforo	mg / L		45	27
Potasio	mg / L		94	97
% Ácido húmico			14	5
% Ácido fúlvico			7	5
% Materia orgánica total			15	32
Intercambio catiónico	meq / 100 g		25	14

* NOTA: Los resultados se reportan en % de nitrógeno total.

En la figura 17 se muestra el consumo de oxígeno para la parte aerobia y en la figura 18 la producción de biogás para el proceso anaerobio durante la experimentación.

Volumen de biogás generado

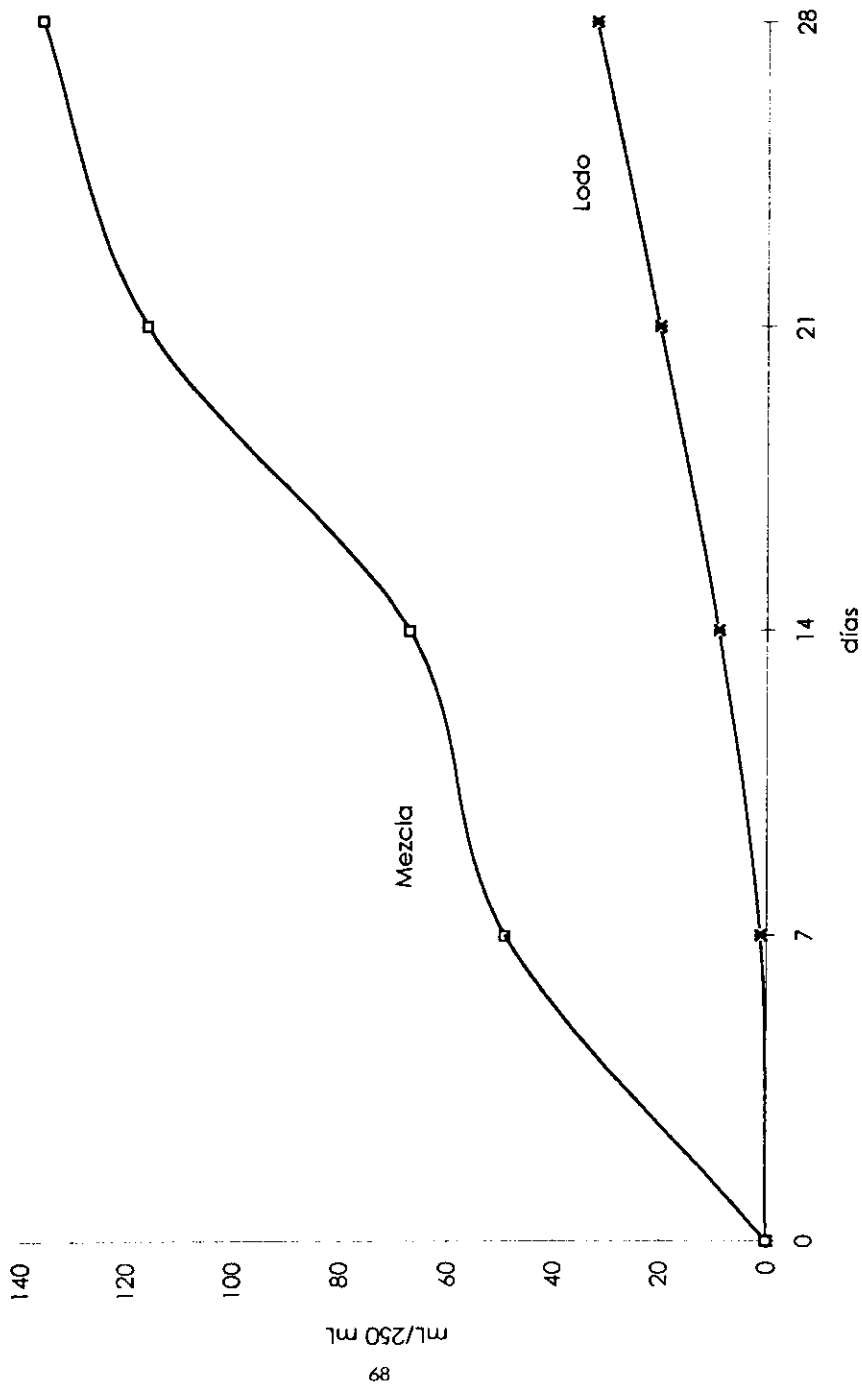


Figura 17. Producción de biogás de lodo y mezcla (lodo:material vegetal)

Volumen de oxígeno consumido

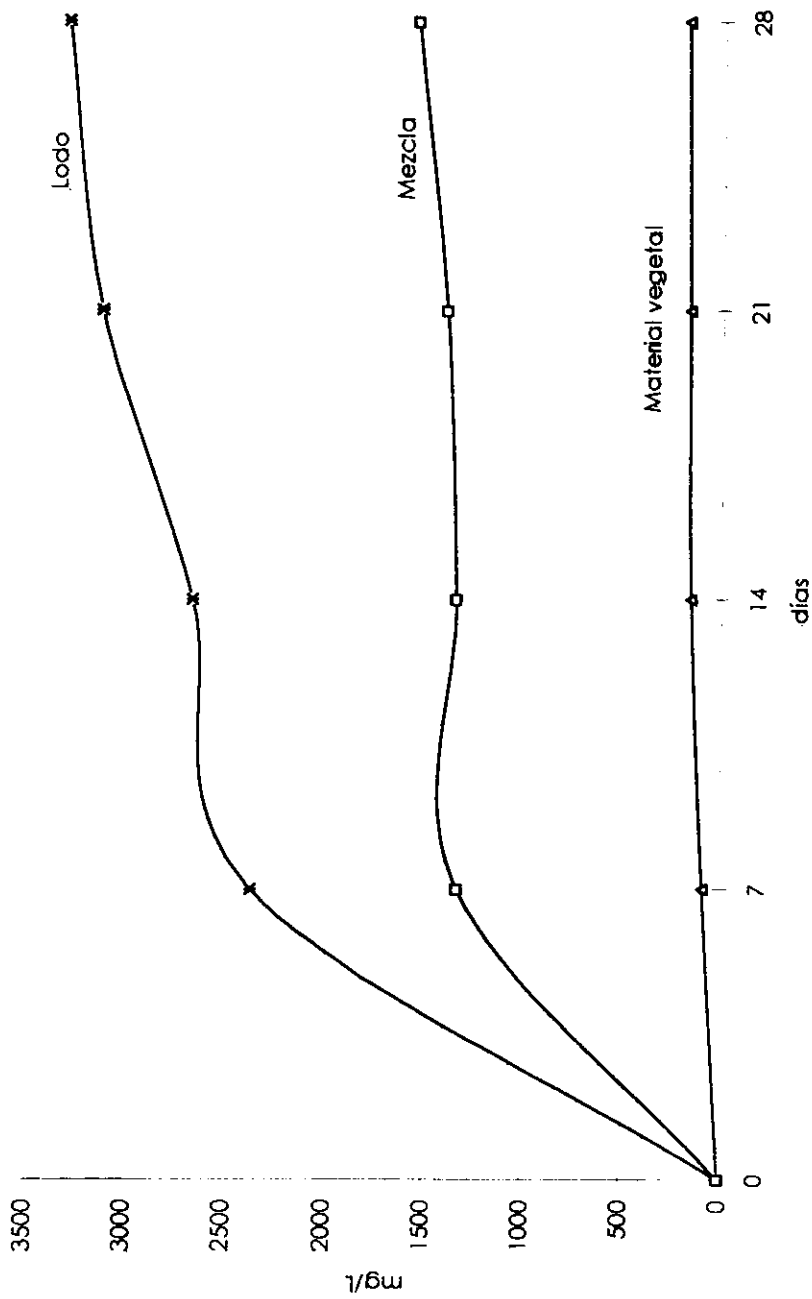


Figura 18. Oxígeno consumido en la degradación aerobia de lodo, mezcla 1:1 de ambos.

5.3 Resultados fisicoquímicos de la composta

En la tabla 22 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos al inicio (mezcla 1:1) de lodo, material vegetal y final del proceso de composteo.

Tabla 22. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a la composta durante el experimento.

PARÁMETRO		MEZCLA 1:1 (Inicio)	COMPOSTA (Final)
pH	unidades	7	7.7
DQO	mg / L	500	6340
STT	mg / L	838940	538890
SVT	mg / L	76070	56700
SFT	mg / L	762870	482200
% STT		91	57
% SVT		91	89
% SFT		9	11
Densidad	g / L	990	1.02
% Humedad		82	47
Nitrógeno	mg / L	1340	0.0
Fósforo	mg / L	9	35
Potasio	mg / L	95	98
% Ácido húmico		12	11
% Ácido fúlvico		5	5
% Materia orgánica total		17	26
Intercambio catiónico	meq / 100 g	149	55

- Registro de temperaturas

La composta preparada con lodos y material vegetal presento siguientes temperaturas durante un periodo de 45 días.

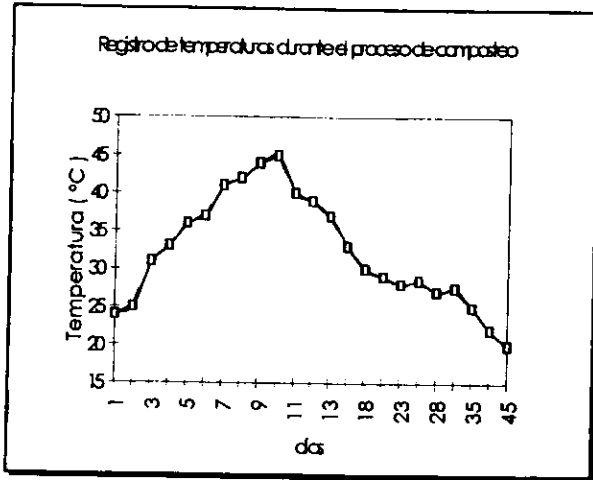


Figura 19. Registro de temperatura

Tabla 23. Registro de temperatura.

TIEMPO (días)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (días)	TEMPERATURA (°C)
1	24	13	33
3	31	18	30
5	36	23	28
7	41	28	27
9	44	35	25
11	40	45	20

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta el análisis y discusión de los resultados obtenidos de los experimentos de degradación aerobia, anaerobia y composteo.

6.1 Pruebas de biodegradación aerobia y anaerobia

Los resultados obtenidos del monitoreo de ambos procesos y de los análisis fisicoquímicos al lodo y al material vegetal se describen a continuación.

6.1.1 Humedad

Las muestras analizadas para ambos procesos indican un intervalo con baja variabilidad en su porcentaje, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 24. Porcentajes de humedad al inicio y final del experimento.

MUESTRA	% HUMEDAD (inicio)	% HUMEDAD (final)
Proceso anaerobio		
• Lodo	99.08	99.48
• Material vegetal	15.3	16.52
• Mezcla	82.44	82.43
Proceso aerobio		
• Lodo	99.08	99.38
• Material vegetal	15.3	14.69
• Mezcla	82.44	82.22

En consecuencia puede afirmarse que no existe una pérdida significativa de humedad a lo largo del proceso de biodegradación tanto anaerobio como aerobio.

6.1.2 Densidad

Los resultados de densidad presentan valores menores o ligeramente mayores a uno (0.99 a 1.09 g/ L). Observando los resultados de las mezclas en los dos procesos estos indican que no afecta la densidad del suelo si se agrega lodo residual, ya que no es muy diferente a la del mismo.

6.1.3 Potencial de hidrógeno (pH)

En el caso del lodo, el pH presentó una mínima variación, en tanto que en las mezclas su valor disminuye de 6.5 a 4.8 unidades, pasando de un estado casi neutro a un nivel medianamente ácido. Con estos valores de pH, la disponibilidad de todos los elementos nutritivos que las plantas toman del sustrato se encuentran en niveles adecuados (Alexander, 1994).

6.1.4 Materia orgánica

Los porcentajes de materia orgánica presentados por las muestras indican cantidades adecuadas para el proceso de composteo ya que se encuentran entre un intervalo del 25 al 30% (Alexander, 1994) .

6.1.5 Capacidad de intercambio catiónico

El intercambio catiónico da una idea de la capacidad nutrimental proporcionada por el lodo y el material vegetal. Además, junto con la materia orgánica, controla la toxicidad de los metales pesados en las plantas. Los compuestos formados son estables y constituyen una fuente de energía potencial (Primo, 1973).

6.1.6 Sólidos (SST, SVT, SFT)

Los valores de sólidos volátiles aumentaron en un 10% para los dos procesos después de un mes de experimentación, lo que indica la conversión de carbono orgánico en CO_2 .

6.1.7 Potasio, Nitrógeno y Fósforo

- Potasio

La concentración de este elemento fue 94 mg/L en el proceso anaerobio y de 97 mg/L en el de tipo aerobio. Dichos porcentajes de este macronutriente son altos porque tiende a fijar los minerales del suelo.

- Nitrógeno

La forma de nitrógeno medida en el lodo, material vegetal y mezcla fue el nitrógeno total para ambos procesos. Los resultados muestran que los valores en mg/L obtenidos en el proceso aerobio son más altos que los del anaerobio. Como consecuencia de una mayor actividad microbiana. Además presentan una gran variación entre el inicio y final del experimento,

- Fósforo

El fósforo fue determinado en su contenido total y disponible en el lodo, material vegetal, y mezcla tanto para el proceso aerobio, como anaerobio. La concentración de este elemento incrementó sus valores considerablemente a lo largo del experimento.

De acuerdo al los resultados analíticos obtenidos de las muestras procedentes de las pruebas de biodegradación anaerobias y aerobias se puede decir que la mezcla 1:1 del lodo biológico residual y el material

vegetal cumplen con los parámetros fisicoquímicos (Alexander, 1994) de una composta según se observa en la tabla 25.

Tabla 25. Comparación cualitativa de las características fisicoquímicas de lodo, material vegetal y mezcla para ambos procesos de biodegradación.

PROCESO	PARÁMETRO	LODO	MATERIAL VEGETAL	MEZCLA 1:1 (L:MV)*
ANAEROBIO	Olor	1	5	1
	pH	5	5	5
	N, K, P	---	4	3
	Humedad	1	4	4
	Densidad	5	4	4
	Materia orgánica	---	5	3
	Degradación	1	1	3
AEROBIO	Olor	1	5	3
	pH	5	5	5
	N, K, P	---	4	5
	Humedad	1	4	5
	Densidad	5	4	5
	Materia orgánica	---	5	5
	Degradación	1	1	5

Nota: La escala equivale a: 1 = malo hasta; 2 = regular; 3 = bueno; 4 = muy bueno; 5 = excelente. * L: lodo; MV: material vegetal

Las diferencias básicas observadas entre ambos procesos fueron las siguientes:

Tabla 26. Diferencias entre el proceso aerobio y anaerobio

AEROBIO	ANAEROBIO
• Casi no hubo producción de malos olores	• Producción de malos olores
• Provoca altos incrementos de temperatura	• Poca elevación de temperatura
• Proceso rápido (2 meses)	• Proceso lento (hasta 6 meses)
• Mayor pérdida de nitrógeno	• Menor pérdida de nitrógeno
• Requirió mayor cantidad de trabajo	• Requirió poco trabajo

A continuación se procederá al análisis de la información obtenida con relación al proceso de composteo.

6.2 Composta

Las mezcla realizada para la elaboración de composta en un proceso aerobio presentó las siguientes características:

Tabla 27. Características de la mezcla lodo-material vegetal

PARÁMETRO	VALORES INICIALES
• Lodo (L)	1.5
• Material vegetal (L)	1.5
• Relación en volumen	1:1
• % sólidos totales	16.37
• % humedad	84.7
• % sólidos volátiles	90.7
• pH unidades	7.02

La composta preparada en un reactor con lodos biológicos residuales y material vegetal, después de 2 meses de reacción tuvo los siguientes resultados finales.

Tabla 28. Características físicas de la composta.

PARÁMETRO	INICIO	FINAL
• Olor	muy desagradable	tierra húmeda
• Color	verde pasto	negro
• Consistencia	2 fases (líquido-sólido)	sólida
• Observaciones	mezcla	esponjoso

6.2.1 Humedad

La muestra analizada presenta un porcentaje de 47% de humedad, lo cual es adecuado debido a que permite una correcta aireación y filtración de agua (Alexander, 1994).

6.2.2 Densidad

El resultado de densidad de la composta fue de 1002 g/L , por lo que no altera la densidad del suelo al ser agregada.

6.2.3 Registro de temperaturas

La variación de la temperatura esta relacionada con el tiempo de composteo. Se incrementó la temperatura durante los primeros días, para luego disminuir en forma gradual según lo esperado para este proceso (Díaz et al, 1993).

La composta preparada con lodos residuales y material vegetal presentó una variación de temperaturas entre 24 a 45 °C, como se puede ver en la figura 19.

Durante los primeros días del proceso se observó un ascenso brusco, hasta alcanzar temperaturas de 45 °C (etapa termófila). Después una etapa de descenso paulatina (etapa de curado) hasta llegar a temperaturas entre 20 y 25 °C al final de los 45 días de composteo.

6.2.4 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH del lodo fue neutro al inicio, pero durante el composteo su valor disminuyó de 6.2 a 6.6, unidades es decir paso a ser ligeramente ácido a casi neutro. Con estos valores de pH, la disponibilidad de todos los elementos nutritivos que las plantas toman del sustrato se encuentra en niveles adecuados.

6.2.5 Ácidos húmicos y fúlvicos

La humificación da un conocimiento acerca de la madurez de la composta, además, permite una alta capacidad de intercambio iónico, por combinación con otros constituyentes inorgánicos del suelo y por absorción del agua. El humus le proporciona a la composta (Primo,1973) una consistencia porosa la cual permite una mayor aireación y mejor capacidad para absorber humedad.

Los resultados de este trabajo se comparan con el artículo publicado en por la compañía ABS Compost (Alexander, 1994) que establece una Guía de parámetros necesarios para una composta.

Tabla 29. Intervalos típicos de una composta

PARÁMETRO	INTERVALO TÍPICO*	EXPERIMENTAL COMPOSTA
• pH unidades	6.8 - 7.3	7.7
• Nitrógeno %	0.3 - 1.3	0.4
• Fósforo mg/L	30 - 40	35
• Potasio mg/L	95 - 100	98
• Densidad g/ L	900 - 1000	1002
• Humedad %	45 - 50	47
• Materia orgánica %	25 - 30	26
• Tamaño de partícula mm	2 - 2.5	2.2

* Alexander, 1994

De acuerdo a la información de esta guía y los resultados obtenidos en la experimentación (Tabla 30), se puede clasificar al producto final como una composta adecuada para su uso en plantas ornamentales y jardinería.

Tabla 30. Comparación de la calidad de productos obtenidos en los diferentes procesos.

PARÁMETRO	INTERVALO TÍPICO*	MEZCLA ANAEROBIA	MEZCLA AEROBIA	MEZCLA COMPOSTA
• pH unidades	6.8 - 7.3	4.8	4.9	7.7
• Nitrógeno %	0.3 - 1.3	0.1	0.15	0.4
• Fósforo mg/L	30 - 40	19	27	35
• Potasio mg/L	95 - 100	94	97	98
• Densidad g/ L	900 - 1000	990	990	1002
• Humedad %	45 - 50	82	82	47
• Materia orgánica %	25 - 30	28	32	26
• Tamaño de partícula mm	2 - 2.5	2	2	2.2

6.3 Balance de materia y energía

El balance de masa ayuda a establecer el consumo de oxígeno en el proceso aerobio, la generación de biogás en proceso anaerobio así como las calidades obtenidas durante estos. En cuanto a las condiciones de composteo no es fácil determinar que cantidad de oxígeno consumió, ni la cantidad de biogás generado, lo anterior debido a la presencia simultánea de ambos procesos. En la tabla 31, puede observarse un balance de materia global para el proceso de biodegradación aerobia, anaerobia y en la composta.

Cabe resaltar que a pesar del alto consumo de oxígeno en la biodegradación aerobia de la mezcla (lodo:material vegetal), la calidad fisicoquímica del producto resultó inferior a la de un abono.

De igual manera, en el proceso anaerobio, la calidad del producto final fue inferior a la de un abono. A pesar de la generación de biogás, el volumen producido, a partir del lodo, resultó más bajo con respecto al registrado para la mezcla (lodo:material vegetal).

Por otra parte, en el proceso de composteo, aunque no se realizó la determinación de oxígeno consumido ni la generación de biogás debido a la dificultad para llevar acabo su monitoreo en condiciones "abiertas", las características fisicoquímicas del producto final resultaron ser las más adecuadas para clasificarse como un abono.

En consecuencia puede decirse que este último proceso a pesar de ser el menos controlado y requerir menos suministro de energía genera una mejor calidad de material para ser utilizado como abono.

Tabla 31. Balance de materia en proceso aerobio, anaerobio y composteo.

PROCESO AEROBIO	VOLUMEN (mL)	CONSUMO O ₂ (mg/L) Tiempo = 28 días	OBSERVACIONES PROCESO AEROBIO
LODO	250	3300	Suministro de O ₂
MAT. VEGETAL	250	180	Ausencia de luz
MEZCLA 1:1, L:MV*	125:125	1550	Agitación contante
			Temperatura constante = 25°C

PROCESO ANAEROBIO	VOLUMEN (mL)	GENERACIÓN BIOGÁS (mL/250 L) Tiempo = 28 días	OBSERVACIONES PROCESO ANAEROBIO
LODO	250	32	Ausencia de O ₂
MAT. VEGETAL	250	0	Ausencia de luz
MEZCLA 1:1, L:MV*	125:125	136	Agitación constante
			Temperatura ambiente

PROCESO DE COMPOSTEO	VOLUMEN (mL)	CONSUMO O ₂ Y GENERACIÓN BIOGÁS	OBSERVACIONES PROCESO DE COMPOSTEO Tiempo = 45 días
MEZCLA 1:1, L:MV*	1500:1500	No determinados	Sin control de evaporación
			Mezclas periódicas
			Temperatura ambiente

Mezcla*: L = Lodo; MV = Materia vegetal

Como posibles beneficios de la aplicación de composteo a la mezcla de lodos biológicos más material vegetal, se pueden obtener lo siguiente:

- La composta permite a los jardineros contar con un producto de alto contenido de materia orgánica, que ayuda al mejoramiento de las características físicas del suelo.
- Evita la explotación de suelos naturales, en el caso de sustratos de viveros, los cuales son cada vez más difíciles de conseguir por la protección que las leyes de ambientales están otorgando como medida para la conservación de bosques.
- Se contribuye a evitar tanto la acumulación de material vegetal seco como la pérdida de suelo.
- El lodo y material vegetal aplicados en porcentajes agronómicos, puede proporcionar los requerimientos de nutrimentos esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio necesario para los cultivos.
- Protección del acuífero, debido a que el nitrógeno contenido en el lodo está enlazado a la materia orgánica, puede ser menos contaminante que el nitrógeno contenido en fertilizantes químicos.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La composta obtenida a partir de lodo biológico residual y material vegetal, dadas su calidad fisicoquímica, podría ser usada como sustrato para el cultivo y propagación de plantaciones de uso agrícola, forestal y hortícolas, así como en la recuperación de suelos erosionados.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se puede concluir lo siguiente:

- El proceso de composteo aerobio y anaerobio permite la estabilización de los lodos residuales, convirtiéndose en una alternativa para el tratamiento de estos desechos, mediante la generación de un producto estable.
- El producto final resultante del composteo presentó características para ser clasificado como una composta para uso en plantas de ornato y jardinería.
- El producto obtenido del proceso aerobio y anaerobio resultó de mejor calidad como abono que el del proceso de composteo, no obstante este último fue el menos controlado y el que requirió menos energía.

Recomendaciones para estudios posteriores:

- Se recomienda a futuro la designación de una área para tratar los desechos de la planta de tratamiento de aguas y el material vegetal provenientes de Ciudad Universitaria por medio del proceso de composteo.

- Realizar experimentos variando la porción de mezcla (lodo biológico y material vegetal).
- Evaluar experimentalmente, la bondad de la composta producida mediante el empleo de semillas de plantas.
- Realizar estudios enfocados a determinar la presencia y/o ausencia de microorganismos patógenos en el lodo y la composta,

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander R. 1994. Standards and Guidelines for Compost Use. BioCycle. Diciembre:37 - 40.
- APHA-AWWA-WPCF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Díaz de Santos. Madrid, España.
- Brinton W, Evns E. y Droffner M. 1996. Standardized Test for Evaluation of Compost Self-Heating. BioCycle. Junio:64 - 69.
- Bruce A. y Ellis H. 1983. Sewage Sludge Stabilisation and Disinfection. Cassell. Londres, Inglaterra. p. 30 - 34.
- Buckman H. y Bardy N. 1980. Naturaleza y propiedades del suelo. Limusa. Barcelona, España. p. 178 - 181.
- Burge W. 1979. Criteria for achieving pathogen destruction during sewage sludge composting. Peers. EEUUA. p. 124 - 135.
- Dalzell H. 1985. Producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Centro Agrícola, Medak, India. p. 162 - 180.
- Davoni J. 1975. Handbook of Solid Waste Disposal. Materials and Energy Recovery. Van Nostrand Reinold. EEUUA. p. 235 - 240.
- Díaz L. Savage G. y Eggerth L. 1993. Composting and Recycling Municipal Solid Waste. Lewis Publishers. EEUUA.

- Díaz M. y Polo A. 1994. Procedimiento de compostaje para lodos de estaciones de depuración de aguas residuales mezclados con materiales lignocelulósicos. Consejo Superior Investigaciones Científicas Serrano. Madrid, España.
- Dufresne S, Blais J, Roy C. y Guay R. 1993. Municipal Waste Water Treatment Plant Sludges of Organic. Biohidrometallurgical Technologies the Minerals, Metal and Materials Society. EEUA. p. 267 - 276.
- Farrel J. y Stern G. 1974. Methods for reducing the infection hazard of waste sludge. International Atomic Energy Agency. Viena Austria. p.19-28.
- Finck A. 1988. Fertilizantes y fertilización. De Reverté. Barcelona España.
- Finstein M. 1987. Analysis of EPA Guidance on Composting Sludge. BioCycle. Enero:20 - 26.
- Gill B. y Figuerredo C. 1993. Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Publishers. EEUA.
- Gray R, Sherman L. y Bliddlestone A. 1971. A review of composting Part 1. Process Biochemical. 6:32 - 36.
- Greenberg A, Shastid T. y Ellgas W. 1986. Quality Control Monitoring. BioCycle. Octubre: 36 - 38.
- Grope K. 1995. Organic Farms and Urban Yard Trammming. BioCycle. Septiembre:63 - 65.

- Haug R. 1979. Engineering principles of sludge composting. Water pollution control Fed. 51:2189 - 2206 .
- Herbert L, Brodie P, Francis R, Govin A y Lewis C. 1944. What Makes Good Compost. BioCycle . Diciembre:66 - 68.
- Hirai M. 1988. Measuring for composting maturity. Managing Sludge by composting. 6:56 - 68.
- Howe C. y Coker C. 1992. Co-Composting Municipal Sewage Sludae with Leaves, Yard Wastes and Other Reacyclables a Case Study. 85th Annual Meeting and Exhibition. Kansas City, Missouri. Junio:83 - 97.
- Iannotti D. y Toth B. 1992. Compost Stability. BioCycle. Noviembre:62 - 66.
- Inbar Y, Handar Y. y Chen Y. 1993. Recycling of Cattle Manure: The Composting Process and Characterization of Maturity. Environ Qual. 22: 857 - 863.
- Inbar Y, Chen Y. y Hadar V. 1990. New Approaches to Compost Maturity. BioCycle. Diciembre: 64 - 68.
- Lossin R. 1996. Measurement of the Chemical Oxygen Demand of Compost. Compost Science. Marzo - Abril: 31 - 33.
- Loveday Y. 1992. Garbage in compost out. New-Sentienel South. Noviembre: 26 - 31.
- Maynard A. 1995. Increasing Formato Yields with MSW Compost. BioCycle. Abril: 104 - 107.

- Middlebrooks J. y Ronald W. 1988. Criterios Natural Systems for Waste Management and Treatment. Mc. Graw Hill Book. EEUUA.
- Minnich J. y Hunt M. 1979. The Rodale Guide to Composting. Organic Gardening Magazine. 5:352 - 366.
- Montoya J. 1990. Dirección General de Obras y Servicios Generales Vivero Bajo. Práctica de Mejoramiento de Suelos. México.
- Montoya J. 1990. Dirección General de Obras y Servicio a Generales Vivero Bajo. Producción de Composta. México.
- OECD. 1992. Guidelines for testing of chemicals. Ready biodegradability 301 A "DOC Die-away test" organization for Economic cooperation and Development. Paris, Francia.
- O'Keefe D. y Chynowe F. 1996. Sequential Batch Anaerobic Composting of Municipal Solid Waste (MSW) and Yard Waste. BioCycle. Abril:41 - 47.
- Poincelot H. y Gray R. 1975. The Biochemistry and Methodology of Composting. Conn. Agric. Exp. Sta. Bull. Núm. 754:18
- Primo Y. 1973. Química agrícola. Alhambra. Madrid, España.
- Ramírez C, Cardoso L. y López S. 1991. Estudio de factibilidad para el montaje de una planta de composteo. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, informe interno. México.
- Roger H. 1979. The Practical Handbook of Compost Engineering. Ann Arbor Science. Michigan EEUUA. p. 213 - 245.

- Saviozzi A. y Levi-Minzi R. 1988. Maturity Evaluation of Organic Waste. BioCycle. Marzo:33 - 38.
- Sahagún J. 1985. Análisis químico del suelo de la región Guasco Tesis. Facultad de Química UNAM. México.
- Soares H. y Cárdenas B. 1995. Evaluating Pathogen Regrowth in Biosolids Compost. BioCycle. Junio:70 - 76.
- Solbraa K. y Sant M. 1983. Composting soft and Handwood Barks. BioCycle. Julio - Agosto:44 - 49.
- Steville R. 1995. Compost Facilities Diversify and Built Markets. BioCycle. Septiembre:42 - 49.
- Terrazas T, Cortés A. y Segura S. 1994. La Vegetación Urbana del Campus Universitario y La Polémica del Eucalipto. Programa Universitario del Medio Ambiente. México.
- The BioCycle Guide to the art and Science of Composting Edited .1996. The staff of Biocycle Journal of Waste Recycling. EEUUA.
- Williams T. 1984. Performance Testing of an Innovative Sludge Composting Aeration System in Nashville, Tennessee. Biochem. Eng. Febrero:78 - 82.
- Ward J. y Dubos R. 1972. Una Sola Tierra. Óceáno. México.
- Willson P. y Dalmat G. 1986. Manual for Composting of Sewage Sludge. BioCycle-EPA. Agosto:34 - 37.

ANEXO 1

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD UNIVERSITARIA

La planta de tratamiento de aguas residuales da está ubicada entre las calles de Cerro del agua y Circuito exterior, frente a la Facultad de Medicina y abastece a doce cisternas distribuidas en las áreas verdes de Ciudad Universitaria.

El tratamiento de las aguas residuales en la planta consta de las siguientes etapas: (figura 20)

- I.- Captación de aguas residuales
- II.- Pretratamiento
- III.- Sistema de lodos activados
- IV.- Sistema de biodisco
- V.- Sistema de biofiltro
- VI.- Sedimentador secundario
- VII.- Filtros de arena
- VIII.- Cárcamo de aguas tratadas y cloración

I.- Captación de aguas residuales

La planta fue diseñada originalmente para tratar 40 litros por segundos, de aguas residuales provenientes de diversas zonas de Ciudad Universitaria y de la colonia Copilco el Alto. La llegada del agua a la planta se realiza a través de tres colectores localizados dentro de lo que corresponde al tanque regulador de tormentas.

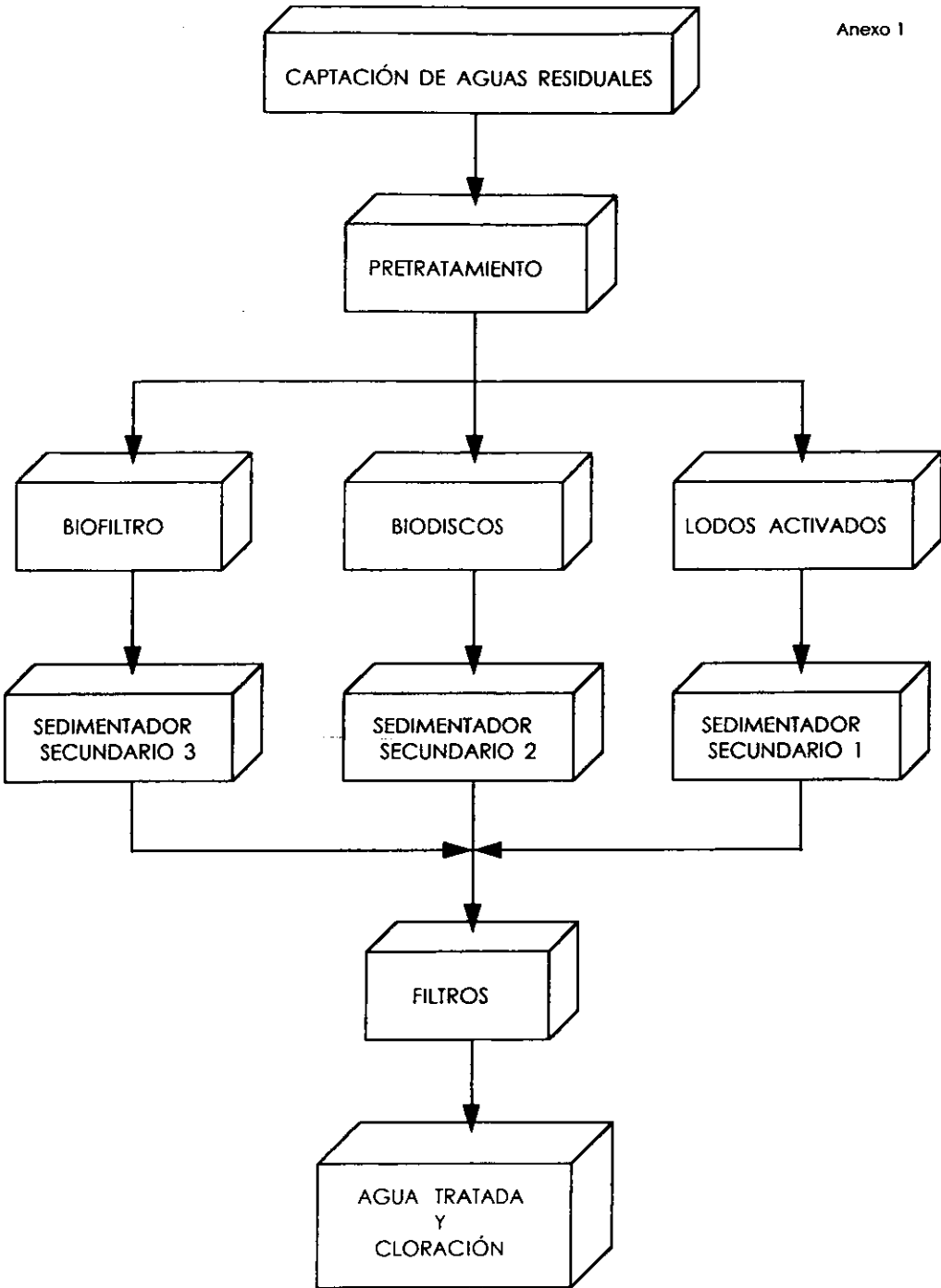


Figura 20. Etapas en el tratamiento de aguas residuales

Los colectores de la zona antigua y de los institutos y conducen parte del agua de desecho de la Universidad; el colector de la colonia Copilco el Alto, conduce agua residual de tipo doméstico con la finalidad de asegurar un caudal constante de agua a tratar, y es de virtual importancia, sobre todo cuando disminuye considerablemente la generación de aguas residuales en la Universidad; como es el caso de fines de semana, noches, días feriados, periodos vacacionales, etc. Estos colectores están provistos de rejillas metálicas que separan sólidos de gran tamaño como botes, hules, hojas, basura de tipo doméstico y otros, cuya limpieza se realiza manualmente.

El cárcamo de captación está construido de concreto armado, conteniendo un volumen promedio de agua de 34 metros cúbicos.

II.- Pretratamiento

El pretratamiento consiste en eliminar los sólidos orgánicos e inorgánicos pesados con el fin de facilitar los procesos subsecuentes del tratamiento; para ello, la planta cuenta con un desarenador que tiene como función eliminar arena, gravilla, cenizas y en general, materiales pesados de mayor densidad que la de los sólidos de tipo orgánico, contenidos en el agua residual. Este desarenador es de tipo cuadrado y de flujo horizontal.

El agua choca a la entrada del desarenador con una serie de ocho deflectores o mamparas metálicas que le restan velocidad y sale por una serie de vertedores triangulares hacia un canal que la conduce a los medidores de flujo (medidores Parshall). Este tipo de medidores son canales que tienen una contracción o garganta que produce una elevación del nivel en función del caudal de agua que pasa a través de éstos.

En la planta de tratamiento hay tres medidores de este tipo, y están colocados en paralelo para permitir la distribución de flujo a los tres sistemas de tratamiento.

III.- Sistema de lodos activados

El sistema de lodos activado es un sistema de tratamiento biológico de tipo aerobio con biomasa suspendida, en el cual se lleva a cabo el proceso de biodegradación, que consiste en la transformación de la materia orgánica por medio de microorganismos a sustancias estables, bióxido de carbono y agua.

En la planta de tratamiento, el sistema de lodos activados es del tipo completamente mezclados y con aireación mecánica; fue diseñada para tratar 20 litros por segundo y consta de las siguientes partes.

- 1.- Tanque de aireación
- 2.- Sedimentador secundario
- 3.- Cárcamo de recirculación de lodos
- 4.- Caja partidora

1.- Tanque de aireación

El tanque de aireación es de concreto armado, el volumen de almacenamiento de 467 metros cúbicos. El tiempo que permanece el agua dentro del tanque es de 6-5 horas, asegurando así, una gran remoción de materia orgánica. El agua contenida en los tanques de aireación se llama licor de mezclado; en él, se puede observar grumos que están formados por agrupaciones de materia orgánica y microorganismos, de apariencia esponjoso y color pardo, a los que se les llama "LODOS ACTIVADOS".

El sistema de aireación mecánica consiste en dos aireadores que están totalmente sumergidos y acoplados cada uno a un motor. Su función es la de proporcionar el oxígeno necesario a los microorganismos y de homogeneizar el licor de mezclado en todo el tanque para evitar acumulaciones.

2.-Sedimentador secundario

El sedimentador secundario es circular, la alimentación se realiza por el centro a través de una columna de concreto y se vierte por seis orificios para chocar con una mampara concéntrica al tubo de alimentación; con esto, el agua pierde velocidad y los lodos se desplazan hacia el fondo.

Tiene en su parte inferior un puente giratorio, un sistema de rastras que separan los sólidos sedimentados y los envían al cárcamo de recirculación. Asimismo, tiene una rastra a la altura del nivel del líquido que se remueve los sólidos que flotan en la superficie hacia un desnatador para ser desechados. El líquido sobrenadante (agua clarificada) se derrama por unos vertederos hacia una canaleta que conduce el agua hacia los filtros de arena.

3.- Cárcamo de recirculación de lodos

En este cárcamo llegan los lodos provenientes del sedimentador para ser enviados a la caja partidora. Esta construido de concreto armado.

4.- Caja partidora

La función de la caja partidora es de dividir el flujo hacia la línea de recirculación, o bien, al sistema de drenaje. La recirculación de los lodos tiene como fin evitar la pérdida de lodos, ya que de ser desechados éstos, se tardarían mucho tiempo en regenerarse en el tanque de aireación. Por

otra parte, cuando son enviados al drenaje pueden ocasionar el azolvamiento del mismo.

IV.- Sistema de biodisco

Este sistema esta integrado por una serie de discos de poliestireno corrugado que mide 3.6 metros de diámetro, los cuáles giran sobre un eje horizontal a 1.5 revoluciones por minuto sumergidos en un 40% dentro de un tanque que contiene agua a tratar.

El proceso biológico aerobio del biodisco consiste en el crecimiento y reproducción de microorganismos en el sistema para degradar materia orgánica. Al estar girando los discos, inmediatamente los microorganismos presentes en las aguas residuales se adhieren a la superficie de cada disco y empiezan a crecer y a reproducirse.

El oxígeno requerido por los microorganismos se obtienen del aire a través de película del agua que se forma al estar girando los discos. El oxígeno disuelto que no es utilizado, se incorpora al agua residual que contiene el tanque, por lo que se mantiene una concentración adecuada de oxígeno en las aguas residuales en proceso de tratamiento.

El sistema de biodiscos fue diseñado para tratar un flujo se 10 litros por segundo y su eficiencia se mantiene entre un 80% y 90%, independientemente del clima.

V.- Sistema de biofiltro

Este sistema se clasifica entre los procesos aerobios de biomasa fija. También es llamado filtro percolador, filtro bacteriano, filtro rociador o biotorre. Está diseñado para manejar 10 litros por segundo y es de ventilación natural. Consta de dos cárcamos de bombeo, torre percoladora, caja partidora y sedimentador.

- Cárcamo de bombeo

Uno de ellos recibe el agua residual y el agua tratado de recirculación, y a partir de éste, se alimentan al biofiltro por medio de dos bombas centrifugas sumergibles; el otro cárcamo recibe el agua tratada y la envía al sedimentador por medio de una bomba. Las bombas en cada cárcamo funciona alternativamente.

- Torre percoladora

El agua entra a la torre percoladora y asciende por una columna central de concreto armado en cuya parte superior se encuentra el sistema rociador. Este, consiste en una serie de 4 tubos provistos de 4 boquillas cada uno, montados en forma horizontal y sostenidos con cables de acero. El agua al escapar por las boquillas, empuja al sistema rociador y lo hace girar en sentido contrario a la salida de agua; con las boquillas se logra la dispersión del agua y que ésta, moje toda la superficie del empaque en el cuál están adheridos los microorganismos.

- Caja partidora

La caja partidora está formada por 3 compartimentos. El primero recibe el efluente del filtro percolador. Los otros dos comunican respectivamente con el cárcamo de alimentación y con el cárcamo del efluente. El flujo se

regula mediante la apertura de una puerta metálica corrediza accionada en forma manual.

- Sedimentador

El sedimentador es del mismo tipo que el sistema de lodos activados y recibe el efluente del biofiltro, pero a diferencia de aquél, los sólidos sedimentables se desechan y el agua clarificada llega a los filtros de arena. Su función es la de acumular el agua clorada para ser bombeada a los tanques de almacenamiento que componen el sistema de irrigación de Ciudad Universitaria.

La cloración tiene por objeto la desinfección del agua. La desinfección del agua se alcanza agregando cloro suficiente al agua para que, aproximadamente a los 40 minutos de agregado, quede una concentración de cloro residual entre 2 y 3 ppm.

VI.- Sedimentador secundarios

La función de este tipo de sedimentadores, es la de clarificar el agua proveniente de los diferentes sistemas de tratamiento, mediante la sedimentación de sólidos como ya se describió anteriormente para cada uno de los sedimentadores.

VII.- Filtros de arena

La planta de tratamiento cuenta con 6 filtros abiertos al ambiente. El techo filtrante de cada filtro tiene una superficie de 3.24 metros cuadrados.

Los filtros funcionan de la siguiente manera:

El agua proveniente de los sedimentadores penetra a la cámara de filtración, atravesando una capa de 30 centímetros de arena, una capa menor de antracita y una capa de grava, para salir a través de un falso fondo hacia el cárcamo de aguas tratadas.

Las partículas que tiene el agua a la entrada, quedan retenidas en la capa de arena. Después de varios días de operación se retiene una gran cantidad de partículas, por lo que es necesario parar la alimentación al filtro y lavarlo. Esto se hace a contracorriente con la misma agua que ha sido filtrada y que se almacena en el cárcamo de aguas filtrada; el agua asciende a través del filtro, llevándose consigo las partículas retenidas y se derrama por una canaleta central para ser descargada al drenaje.

VIII.- Cárcamo de aguas tratadas y cloración

La cloración se realiza en el cárcamo de aguas tratadas, el cual tiene una capacidad de 173 metros cúbicos.

Estableciendo la etapa final del este recorrido, por el que atraviesan las aguas negras para convertirse en aguas tratadas. Que posteriormente podrán ser utilizadas de diferentes maneras.

La figura siguiente muestra la descripción del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria.

En esta se puede localizar las diferentes etapas por las que pasan las aguas negras para su tratamiento.

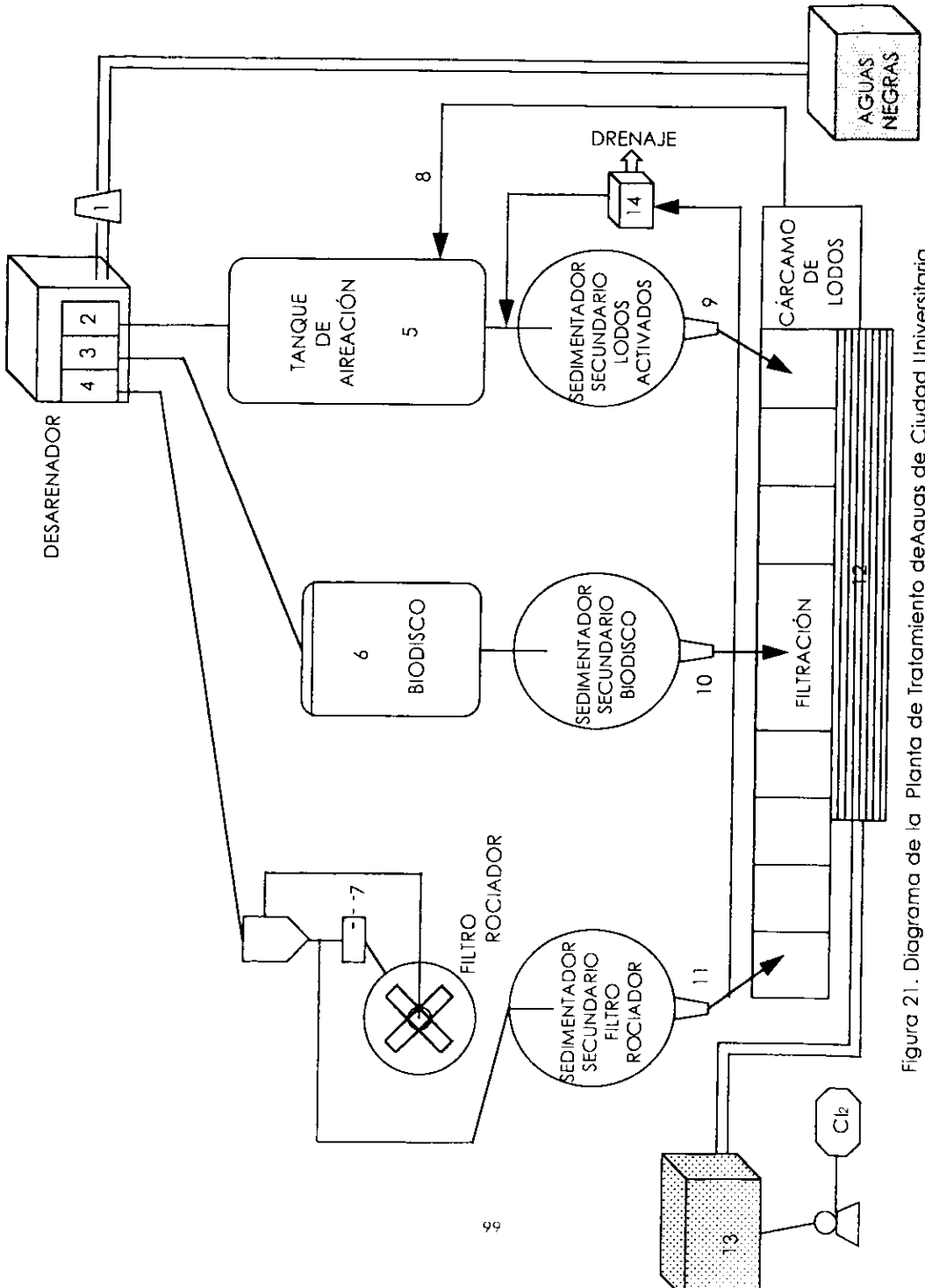


Figura 21. Diagrama de la Planta de Tratamiento de Aguas de Ciudad Universitaria

SIMBOLOGÍA

- 1.- Parshall de entrada de agua residual
- 2.- Influyente del sistema de lodos activados
- 3.- Influyente del sistema de biodisco
- 4.- Influyente del sistema filtro rociador
- 5.- Licor mezclado del tanque de aireación
- 6.- Licor mezclado del biodisco
- 7.- Recirculación del filtro rociador
- 8.- Recirculación del tanque de aireación
- 9.- Efluente del tanque de aireación
- 10.- Efluente del biodisco
- 11.- Efluente del filtro rociador
- 12.- Efluente final
- 13.- Agua tratada
- 14.- Caja partidora

ANEXO 2

GUÍA PARA LA OPERACIÓN DEL EQUIPO VOITH-SAPROMAT B-12 (Manual del usuario, 1994) Y EQUIPO DE AGITACIÓN PARA PROCESO ANAEROBIO.

Fundamento:

El método respirométrico presenta la particularidad de que el oxígeno se encuentra disponible lo largo de la prueba. Esto se logra por medio del montaje de unidades compuestas por un indicador de presión, un generador de oxígeno (celda electrolítica) y un matraz de reacción interconectados por mangueras (Figura 22). Los envases forman un sistema de medición sellado por lo que las fluctuaciones de la presión barométrica no afectan el resultado de las determinaciones. La actividad de los microorganismos en la muestra produce CO_2 . La absorción del CO_2 en gránulos de cal sodada crea un vacío parcial en la unidad de medición, el cual es registrado por el indicador de presión, este controla la generación electroquímica de oxígeno a partir de una solución ácida saturada de CuSO_4 , que será suministrado al matraz de reacción. La reacción nitrógeno/oxígeno en el espacio gaseoso sobre la muestra a través del periodo de medición, por lo tanto no existe depleción de oxígeno disuelto. Un agitador magnético dentro de la muestra provee de agitación vigorosa, con el fin de asegurar un intercambio de gases efectivo. La temperatura de la muestra se mantiene por medio de un baño de agua controlado. En contraste con el método de dilución convencional, este equipo permite que se lleve a cabo un verdadero proceso respiratorio pues cuantifica la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos para llevar a cabo la oxidación bioquímica de compuestos orgánicos.

Componentes del respirómetro VOITH-Sapromat B-12

El equipo consta de:

- Baño de agua con temperatura controlada.
- 12 unidades de reacción integradas cada una de ellas por unidad de reacción con dispositivo de absorción de CO₂ a base de cal de sodio colocada en un recipiente acoplado al tapón y de un agitador magnético ubicado al fondo del matraz.
- Un indicador de presión.
- Un generador electrolítico de oxígeno.

Nota: Estos aditamentos se encuentran interconectados por mangueras y electrodos.

- Unidad de registro de valores con indicador digital (Ver figura 23). En ella se encuentran los siguientes botones:

1. STAR: Indica la medición de valores

2. STOP: Interrumpe o termina la medición de valores.

3. RESET: Borra los valores producto de la medición.

4. Botones de factor. Presentan el valor del factor de oxígeno en las unidades de reacción activadas.

5. Botones de valor de DBO: Despliegan los valores de DBO registrados en las unidades de reacción activas

6. Botones de selección de factor. Permite ajustar el valor del factor de oxígeno de las unidades de reacción al valor deseado. El factor de medición óptimo es:

- Factor de 0.1: DBO₅ en el intervalo de 0 a 600 mgO₂/L
- Factor de 0.5: DBO₅ en el intervalo de 0 a 3000 mgO₂/L
- Factor de 1.0: DBO₅ en el intervalo de 0 a 6000 mgO₂/L
- Factor de 2.0: DBO₅ en el intervalo de 0 a 12000 mgO₂/L

7. Botones de unidad individual: Presentan un diodo de operación (verde) y un diodo de suministro de oxígeno (rojo) que sirven para poner en operación cada uno por separado.

8. Botón de operación para todas las unidades: Permite poner en funcionamiento todas las celdas a la vez

9. Llave. Protege el panel de operación contra el acceso no autorizado:

- Vertical: No es posible el acceso a panel de operación.
- Horizontal: Es posible acceder al panel de operación y todos sus elementos

10. Área de exposición: Muestra las funciones realizadas en un momento dado, por ejemplo los valores registrados de DBO o mensajes de error.

- Una computadora donde se lleva a cabo el registro de valores, pruebas, condiciones, etc., así como la construcción automática de las gráficas correspondientes al proceso.
- Unidad de enfriamiento.

Obtención de resultados:

La cantidad de la muestra, el amperaje para que se lleve a cabo la generación electrolítica de oxígeno y la sincronización de la velocidad del motor están estabilizados para que con 250 mL de muestra el contador digital indique la DBO en mgO_2/L .

Para la determinación de DBO₅ el valor máximo está limitado de 100 a 1000 mgO_2/L .

En el caso de valores muy altos de DBO:

Se puede aplicar RESET al llegar al límite de detección y después sumar el valor restante obtenido.

Si la DBO indica la posibilidad de obtener un DBO mayor de 1000 mgO₂/L se puede disminuir el volumen de la muestra al 50% (125 mL), sin necesidad de diluir la muestra y una vez terminada la evaluación el valor que aparece en el indicador digital se multiplica por 2. También es posible realizar una dilución, en cuyo caso deberá multiplicarse por el factor de dilución (F) correspondiente. El factor de dilución se obtiene a partir del inverso de la dilución. Ejemplo:

dilución 1/10, inverso 10/1, por lo tanto $f = 10$

Observaciones:

Al adicionar agua se diluye la concentración de la materia orgánica disuelta y también ñas sustancias tóxicas contenidas en la muestra, por lo que pueden obtenerse resultados difíciles de extrapolar a las condiciones del ambiente real del que proviene la muestra a analizar.

Aplicaciones

- Obtención de la DBO por el método respirométrico
- Pruebas a sustancias sólidas (ejemplo suelos)
- Pruebas de descomposición de sustancias químicas
- Análisis de productos de interés
- Realización de pruebas de biodegradabilidad aerobia

Además de las mediciones de rutina, también es posible realizar la medición de valores de DBO muy bajos. El comportamiento de degradación de la muestra puede ser observado a través del tiempo.

Reactivos requeridos y pasos previos al montaje de la prueba

a) Preparación de celdas electrolíticas

Solución compuesta de 2050 g de sulfato de cobre pentahidratado (CuSO₄·5H₂O) en 7.5 L de agua destilada. Agregar 200 mL de ácido sulfúrico

concentrado (H_2SO_4). Llenar con esta solución los matraces generadores de oxígeno (Figura 24).

1. Quitar el tapón junto con el cátodo de cobre y el cilindro de vidrio.
2. Llenar el matraz Erlenmeyer con la solución de sulfato de cobre hasta aproximadamente 5 cm del cuello del matraz.
3. Insertar el tapón en el matraz lleno y cerrar perfectamente.
4. Introducir las 2 mangueras en las conexiones correspondientes.
- 5 Girar el tubo de plexiglás 4 ó 5 veces.
6. Usar una jeringa para llenar con solución de sulfato de cobre a través de una de las mangueras hasta que el nivel de solución en el tubo de plexiglás alcance 1 cm sobre el borde del tapón. Agitar para permitir el escape del aire atrapado.
7. Regresar el tubo de plexiglás a su posición original.
8. Permitir el flujo de la solución de sulfato de color fuera del cilindro de vidrio y llenarlo por medio de la manguera con solución de ácido sulfúrico al 5% hasta que el electrodo de platino esté completamente inmerso.

b) Preparación de los indicadores de presión

Elaborar una solución de ácido sulfúrico al 0.5% mezclado con una solución de anaranjado de metilo como indicador de pH para controlar el nivel existente con mayor facilidad. Para incorporar el volumen correspondiente cada indicador de presión (Figura 25).

1. Abrir la válvula de rosca.
2. Llenar con solución de ácido sulfúrico al 0.5% y unas gotas de anaranjado de metilo hasta que el electrodo de platino corto quede inmerso de 2-3 mm.
3. Cerrar la válvula de rosca.

Colocar los generadores de oxígeno y los indicadores de presión dentro del baño de agua previamente llenado con 60 L de agua desmineralizada. Conectar los electrodos negros a los indicadores de presión.

Procedimiento de montaje

1. Centrifugar las muestras de agua que se deseen analizar, a fin de eliminar partículas suspendidas. Esta operación se realiza sólo en el caso de requerir evaluar el consumo de oxígeno por materia orgánica disuelta biodegradable. (esto es en caso de muestras líquidas).
2. Encender el baño agua con 30 minutos de anticipación para el calentamiento del sistema.
3. Depositar en el vaso de reacción la muestra a ser analizada (realizar diluciones pertinentes y ajuste de pH a valores cercanos a la neutralidad). El volumen total es de 250 mL.
4. Colocar en el tapón del vaso de reacción cal de sodio granulada para captar el CO₂ producido durante el metabolismo microbiano aerobio. La cal de sodio debe ser secada previamente a 103 °C durante una hora y enfriada posteriormente en un desecador.
5. Cerrar correctamente el tapón de rosca del vaso de reacción, cuidando de que no caiga cal de sodio a la muestra de agua en estudio.
6. Encender el sistema de registro y realizar las anotaciones pertinentes en el control graficador directo (fecha, hora de inicio de la prueba, procedencia de la muestra, etc.).
7. Ajustar los indicadores digitales a cero y activar el sistema (Figura 23):
 - Presionar simultáneamente RESET y los botones correspondientes a las celdas activas.
 - Presionar simultáneamente STAR y los botones correspondientes a las celdas activas.
8. Introducir el vaso de reacción en el baño de agua.

9. Realizar las interconexiones necesarias de mangueras y electrodos de los diferentes componentes de las 12 unidades de medición (Figura 24). Conectar los electrodos rojo y azul al matraz generador de oxígeno.
10. Encender el mecanismo de agitación.
11. Ajustar el indicador de presión (cerrar y observar que todos se encuentran al mismo nivel para evitar valores erróneos, en caso de no ser el mismo nivel desconectar la manguera del matraz generador de O₂, abrir la válvula de rosca del interior de presión y reintentar).
12. Registrar los valores obtenidos después de finalizar el tiempo del experimento, observar las gráficas (pueden hacerse registros manuales en una bitácora de control si es que se desea conocer algún valor en un tiempo determinado).
13. Al finalizar la prueba de consumo se oxígeno (DBO, DQO; etc ...)
Presionar STOP y los botones correspondientes a las celdas activadas.
Presionar RESET y los botones correspondientes a las celdas activas.
14. Apagar el equipo, abrir la válvula de rosca localizando en el indicador de presión; desconectar la manguera de los vasos de reacción y de manera parcial los electrodos.
15. Retirar las muestras y lavar con jabón especial para cristalería de laboratorio o con agua corriente. Finalmente enjuagar con agua destilada y dejar secar.

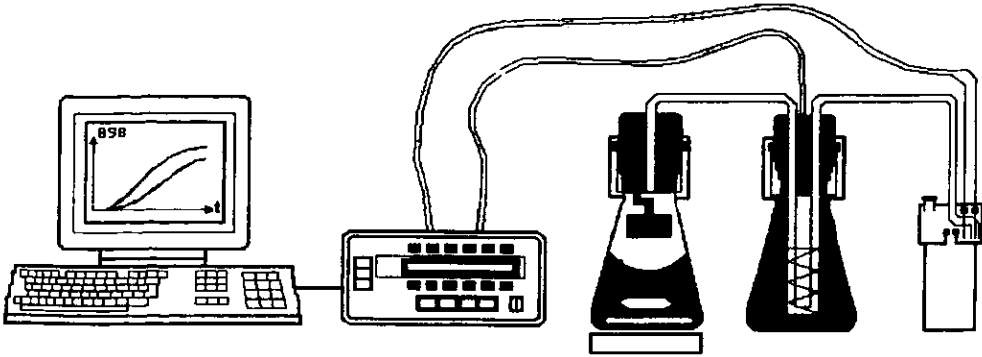


Figura 22. Partes del VOITH SAPROMAT B-12

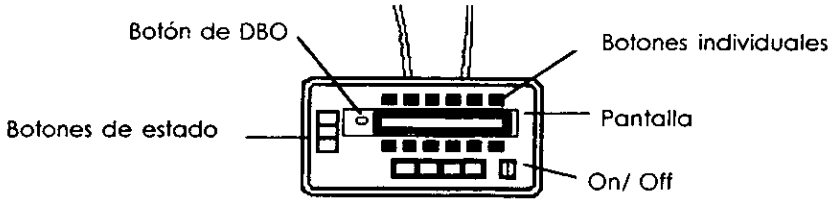
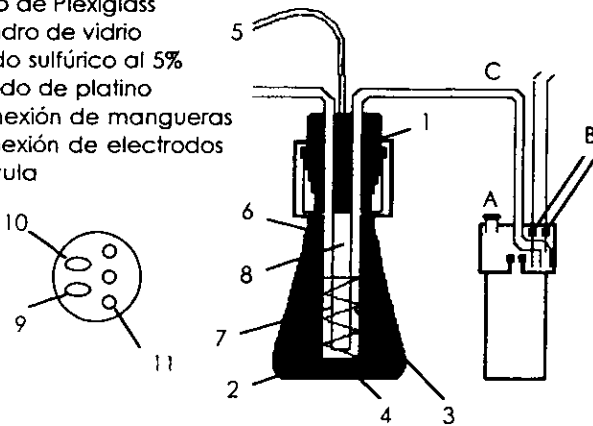


Figura 23. Contenido de la pantalla de la unidad de control

1. Tapón
2. Matraz ertenmeyer
3. Cátodo de cobre
4. Solución de sulfato de cobre
5. Tubo de Plexiglass
6. Cilindro de vidrio
7. Ácido sulfúrico al 5%
8. Anódo de platino
9. Conexión de mangueras
10. Conexión de electrodos
11. Válvula



- A. Válvula de rosca
- B. Electrodo de platino
- C. Tubo ascendente

Figura 24. Esquema del generador de oxígeno

Figura 25. Indicador de presión

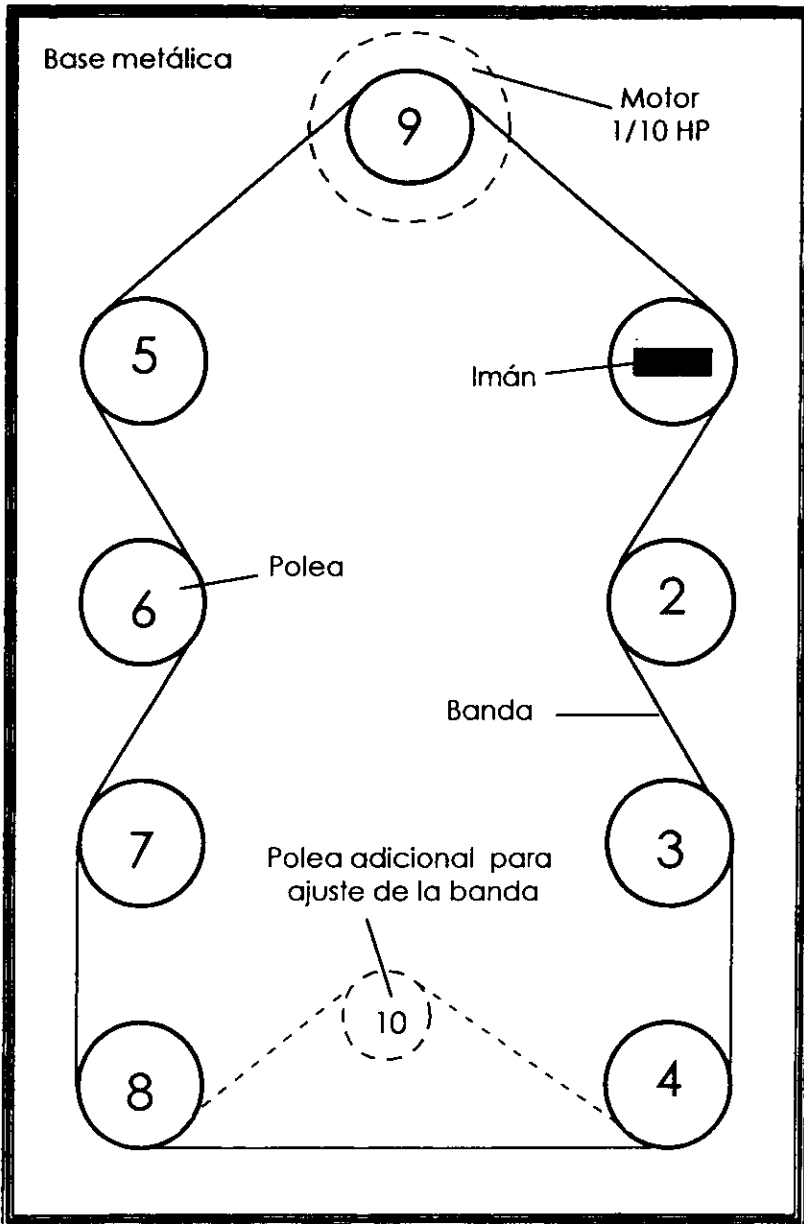


Figura. 26 Equipo de agitación

ANEXO 3

IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

- NITRÓGENO

Es un elemento esencial en la nutrición vegetal, se encuentra en grandes cantidades en las partes jóvenes de las plantas siendo abundante en las hojas y semillas. El nitrógeno es un constituyente de cualquier célula viva. Este forma parte de muchas proteínas las cuales actúan como enzimas y también es parte de la molécula de clorofila. Es así que la medición de nitrógeno ayuda a determinar la presencia de productos naturales como las proteínas, ácidos nucleicos, urea entre numerosos materiales orgánicos sintéticos que intervienen en el crecimiento de las plantas. Una deficiencia de nitrógeno es evidente por una pérdida gradual de clorofila que se hace notorio por la presencia de color verde pálido amarillo, por un crecimiento lento y el reducido desarrollo de la planta. La abundancia de nitrógeno promueve el crecimiento rápido de las hojas y tallos con un color verde oscuro. Una de las funciones más importantes del nitrógeno es el crecimiento de las partes vegetativas aéreas, aunque este proceso no puede llevarse a cabo completamente sin la presencia de cantidades adecuadas de fósforo y potasio. La mayor parte de nitrógeno que se encuentra en el suelo está en forma orgánica, presentándose en cantidades relativamente pequeñas en forma de compuestos de amonio y nitratos que son las formas asimilables.

- FÓSFORO

Este elemento interviene en la nutrición vegetal de los cultivos y podemos encontrarlo en mayor cantidad en las semillas de las plantas y en menor porción en las partes jóvenes en crecimiento. El fósforo forma parte de fosfolípidos, nucleoproteínas y de la fitina, esta última es una forma de

reserva, tanto en plantas como en animales. La presencia del fósforo es muy importante, ya que empleado en las transformaciones normales de los carbohidratos de la planta (cambio de almidones en azúcares); es necesario en la asimilación de las grasas e incrementa la eficiencia de los mecanismos cloroplásticos. Parece que el fósforo acelera la madurez más que otros nutrientes, así un exceso de este elemento estimula la maduración temprana de las plantas. La deficiencia de fósforo se caracteriza en las plantas, cuando éstas presentan más desarrollo en sus raíces.

- POTASIO

Es otro elemento que desempeña funciones importantes dentro de los procesos fisiológicos vitales de las plantas. Es esencial en todos los procesos metabólicos celulares e influye en la absorción de otros elementos minerales. También regulariza el grado de respiración afectando en la relación de transpiración. Es posible que este elemento intervenga con las enzimas y ayude en la síntesis y translocación de los carbohidratos.

El potasio tiene un efecto de equilibrio sobre los resultados de un exceso de nitrógeno. Aumenta la síntesis y la translocación de los carbohidratos provocando un incremento en las paredes celulares y en la resistencia del tallo. Una deficiencia de potasio se manifiesta por la facilidad de el rompimiento de los tallos. Son necesarios altos requerimientos de potasio en cultivos en los cuales se aprovecha la raíz. El abastecimiento de potasio reduce las enfermedades. La mayor parte de potasio existente en el suelo forma minerales como las micas y feldspatos de los cuales solo una pequeña parte se encuentran en forma intercambiable o como sales solubles. La fijación de potasio se facilita cuando el catión forma parte de silicatos laminares.

- MATERIA ORGÁNICA

El carbonato se encuentra en los suelos formando parte de 4 tipos de materiales orgánicos y minerales.

1. Carbonatos minerales: estos son principalmente el CaCO_3 y MgCO_3 , pero se presentan también pequeñas cantidades muy activas o importantes de CO_2 , de HCO_3^- y CO_3^{2-} , iones derivados de los carbonatos más solubles.
2. Formas muy condensadas de carbono: carbón vegetal, grafito, carbón de huya.
3. Residuos de plantas, animales y microorganismos denominados humus.
4. Residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos vivos y muertos, que sufren descomposiciones bastante rápidas en los suelos.

Es así como el carbono total de los suelos incluye las cuatro formas anteriores, pero el carbono de tipo orgánico solo se forma con las últimas tres. Por otra parte la materia orgánica químicamente activa se encuentra relacionada con la génesis del suelo y su fertilidad en las cuales solamente se incluyen las formas 3 y 4. Esta materia es la que queda disponible como un elemento nutriente en las plantas, aumentando la capacidad de adsorción y retención de agua en un suelo.

- POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Quizás la propiedad física más importante para un suelo destinado al cultivo de plantas es el valor del pH o concentración de iones hidrógeno. La medición del pH presenta una relación con otros iones que intervienen en la nutrición vegetal. La cantidad de abonos o fertilizantes que se puedan aplicar a un suelo dependen de la actividad de sus iones hidrógeno y de aquellas relacionadas con su capacidad de cambio iónico. Aquellas

sustancias aplicables a un suelo para el cultivo vegetales tienen un pH que oscila entre 5.5 y 7.5. Cuando el valor del pH es menor de 5, puede indicar deficiencia o indisponibilidad de otros cationes. Pero cuando el valor de pH es mayor a 8.5 es necesario agregar sustancias ácidas.

- **CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO**

Este parámetro es un indicador de la capacidad de retención de materiales en el suelo. Entre más grande sea el valor de la capacidad de intercambio más cationes retiene; este valor está en función de la cantidad y clase de arcillas y materia orgánica presente. Una de las funciones de la capacidad de intercambio catiónico junto con la materia orgánica, controlan la toxicidad de los metales pesados en las plantas.

- **SÓLIDOS (SST, SVT, SFT)**

En el caso de aguas residuales, la medición de los sólidos esta relacionada con su calidad, lo que nos indica niveles permitidos de su vertido al drenaje. En muchas ocasiones la degradabilidad de los sustratos esta muy relacionada con la cantidad de sólidos destruidos durante un proceso de descomposición. Su monitoreo y análisis permite evaluar los cambios que se presenten durante el periodo de descomposición hasta llegar a su estabilización biológica.

- **HUMEDAD**

La humedad es de importancia crítica para el crecimiento de un cultivo. La humedad es un parámetro que establece las condiciones óptimas de un suelo en épocas de sequía o de inundación. El exceso de humedad puede percolar grandes cantidades de nutrientes dejándolas fuera del alcance de las raíces y reduciendo la disponibilidad de oxígeno en estas. Es así, como el contenido de humedad de una muestra esta en relación con el tamaño

y estructura de las partículas. El resultado de la relación anterior indica los espacios disponibles de aire y agua de cada material.

- DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

El análisis de DBO, es empleado para medir la cantidad de oxígeno consumido por las bacterias para oxidar la materia orgánica en una muestra. Es así como esta prueba mide el oxígeno utilizado, durante un periodo de incubación especificado, para la degradación bioquímica de materia orgánica (requerimiento de carbono), y el oxígeno empleado para oxidar materia orgánica. Sus principales usos son: determinar el grado de contaminación de una corriente y evaluar la eficiencia de una planta de tratamiento. Las pruebas empleadas para determinar las tasas de captación de oxígeno se realizan por medio de técnicas respirométricas. Durante un proceso de descomposición resulta útil su medición para indicar los cambios que presentan las muestras desde el inicio hasta final del tratamiento.

- TAMAÑO DE PARTÍCULA

La importancia de clasificar un material por el tamaño de sus partículas está en función de la superficie necesaria para realizar en su totalidad una reacción. Así entre más pequeño sea su radio más rápido se realizará su descomposición.

- CROMATOGRAFÍA

El gas producido durante la descomposición anaerobia de residuos contiene metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) principalmente. Se selecciono el método de cromatografía para el análisis de las muestras gaseosas. Por medio de este procedimiento se puede establecer el número de moles producidos durante la descomposición.

- **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO), se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte. Esta puede relacionarse con DBO, carbono orgánico y materia orgánica.

- **DENSIDAD**

La medición de este parámetro pretende establecer la relación que hay entre la fase sólida y el agua, para definir un volumen, textura y porosidad.

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

(Primo, 1973)

PROCEDIMIENTO

- 1.- En una cápsula de porcelana secada a 105 °C se pesan, con exactitud, 4 g de material.
- 2.- Se secan durante veinticuatro horas en una estufa a 105 °C.
- 3.- Se enfría la cápsula y su contenido en un desecador durante treinta minutos, se pesa y se calcula el contenido en humedad de la muestra secada al aire y tamizada.

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS

(Métodos Normalizados, 1992)

MATERIAL

- Cisoles de porcelana
- Mufla (que opere a una temperatura de 550 °C)
- Desecador
- Estufa (que opere a una temperatura de 103-105 °C)
- Balanza analítica

PROCEDIMIENTO

- 1.- Lavar perfectamente los crisoles, calentarlos en una mufla a temperatura de 550 °C durante una hora, sacarlos, almacenarlos en el desecador, hasta ser utilizados.
- 2.- Pesar en la balanza analítica los crisoles.
- 3.- Poner muestra en el crisol (aproximadamente 1 g), pesar .
- 4.- Poner en la estufa un mínimo de 2 horas a temperatura de 105 °C.
- 5.- Sacar y colocarlos en el desecador, después pesarlos.
- 6.- Ponerlos en la mufla a 550 °C aproximadamente 1 hora.

CÁLCULOS

$$\frac{\text{mg ST}}{L} = \frac{(A - B) \times 1 \text{ E}6}{V_m}$$

$$\frac{\text{mg STF}}{L} = \frac{(C - A) \times 1 \text{ E}6}{V_m}$$

$$\frac{\text{mg SVT}}{L} = \frac{\text{mg ST}}{L} - \frac{\text{mg SFT}}{L}$$

$$\text{Sólidos totales} = \frac{(A - B) \times 100}{C - B}$$

$$\text{Sólidos volátiles} = \frac{(A - D) \times 100}{A - B}$$

$$\% \text{ Sólidos Fijos} = \frac{(D - B) \times 100}{A - B}$$

A = Peso del residuo seco + crisol (mg)

B = Peso del crisol (mg)

C = Peso de la muestra húmeda + crisol (mg)

D = peso del residuo + crisol después de ignición (mg)

V_m = volumen de muestra utilizada (mL)

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

(Método de Walkley [1947] y Black [1934])

FUNDAMENTOS

- a) Oxidación de la materia orgánica del suelo con dicromato potásico, en medio ácido.
- b) Valoración del exceso de dicromato con sulfato ferroso amónico.

MATERIAL

- Una estufa regulada de 105 °C
- Dos matraces Erlenmeyer de 500 mL
- Una pipeta de 10 mL
- Una probeta de 10 mL
- Un agitador magnético
- Una bureta de 50 mL
- Dos pinzas de bureta
- Un soporte universal
- Un desecador

PRODUCTOS

- Dicromato potásico
- Defenilamina
- Ácido sulfúrico concentrado
- Sulfato ferroso amóniacal
- Ácido fosfórico al 85%

REACTIVOS

- a) Solución de dicromato potásico 1N

1.- Se pesan 60 g de dicromato potásico, se secan durante dos horas en la estufa a 105 °C y se enfrían en desecador.

2.- Se pesan 49.035 g del producto seco, se disuelven en agua destilada y se diluyen a un litro.

b) Solución de difenilamina

- 1.- En un vaso de 250 mL, de vidrio, se vierten 20 mL de agua destilada.
- 2.- Se añaden, lentamente, 100 mL de ácido sulfúrico concentrado al vaso que contiene los 20 mL de agua destilada y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.
- 3.- En un vaso de 250 mL se pesan 0.5 g de difenilamina, se añade a este vaso la solución de ácido sulfúrico antes obtenida (20 mL de H₂O + 100 mL de H₂SO₄) y se agita con un varilla de vidrio hasta que se haya disuelto completamente la difenilamina.

c) Solución de sulfato amoniacado (sal de Mohr) 0.5 N.

Se pesan 196.1 g de ((SO₄) 2Fe(NH₄)₂ .6H₂O), se disuelven en 800 mL de agua destilada, con 20 mL de H₂SO₄ concentrado, y diluyen a 1 litro.

PROCEDIMIENTO

- 1.- Se toman dos matraces Erlenmeyer de 500 mL y se numeran (1 y 2). El número 1 servirá para valorar el sulfato ferroso amónico, y el número 2, para realizar la determinación.
- 2.- Se pesa un gramo de suelo, de contenido normal en materia orgánica (2 g en el caso de suelos muy pobres en materia orgánica, o 0.5 g en el caso de suelos muy ricos).
- 3.- Se transfiere el suelo pesado al matraz Erlenmeyer, de 500 mL, número 2.
- 4.- Se vierten 10 mL de la disolución de dicromato potásico 1 N, en el matraz Erlenmeyer número 1. Se agita y se añaden 20 mL de ácido sulfúrico concentrado.

5.- Inmediatamente se pone en marcha el cronómetro, se agita suavemente unos treinta segundos el matraz número 1 y se deja reposar treinta minutos.

6.- Cuando se termina la agitación del matraz número 1, se vierten 10 mL de la disolución de dicromato potásico 1 N en el matraz número 2, se agita y se añaden 20 mL de ácido sulfúrico concentrado.

7.- Inmediatamente, se lee la hora en el cronómetro, se agita el matraz número 2, suavemente, durante treinta segundos y se deja reposar treinta minutos.

8.- Una vez el matraz número 1 ha reposado treinta minutos, se le añade unos 200 mL de agua destilada y 10 mL de ácido fosfórico al 85 %, se enfría con un chorro de agua.

9.- Una vez transcurridos los treinta minutos correspondientes al matraz número 2, se añaden 200 mL de agua destilada y 10 mL de ácido fosfórico al 85%, se enfría con un chorro de agua.

10.- Se añade 1 mL de la solución de difenilamina a cada uno de los matraces y se valoran, con sulfato ferroso amoniacado 0.5 N, hasta que el color vire a verde manzana, agitando durante la valoración con agitador magnético.

CÁLCULOS

a) Cálculo del factor de la solución de sulfato ferroso amoniacado.

Primero debe calcularse el factor de la solución de sulfato ferroso amoniacado, ya que su concentración es Fe^{2+} disminuye con el tiempo por tratarse de un ion que se oxida fácilmente por acción del aire. Este factor se deduce del volumen consumido para reducir el dicromato del matraz num.1 ($F_s = 20 / V_2$).

b) Cálculo del contenido en carbono fácilmente oxidable.

Se deduce de la diferencia entre el dicromato utilizado y el remanente después de la oxidación del suelo.

$$\% \text{ de carbono fácilmente oxidable} = (VD - VS) \times NS \times FS \frac{0.003 \times 100}{p}$$

donde:

VD = volumen de dicromato 1 N empleado (VD = 10 mL) (F = 1)

VS = volumen de sulfato ferroso amoniaco empleado en la valoración

del dicromato potásico que no ha reaccionado con el suelo

NS = normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniaco

(NS = 0.5 N)

FS = factor de la solución de sulfato ferroso amoniaco calculado anteriormente

p = peso de muestra de suelo utilizado

0.003 es el peso miliequivalente del carbono

Por tanto:

$$\% \text{ de carbono fácilmente oxidable} = (10 - 0.5 FS \times VS) \frac{0.3}{p}$$

c) Cálculo del contenido en materia orgánica fácilmente oxidable y total.

Este cálculo, que es aproximado y empírico, se basa en el supuesto de que la materia orgánica del suelo tiene 58% de carbono y que todo el dicromato es consumido por éste. Por otra parte, se supone que, por término medio, la materia orgánica valorada por método, o fácilmente oxidable, es 77% de la materia orgánica total.

$$\% \text{ de materia orgánica fácilmente oxidable} = (10 - 0.5 \times FS \times VS) \frac{0.3}{1.72 \rho}$$

$$\% \text{ de materia orgánica total} = \% \text{ materia orgánica fácilmente oxidable} \cdot \frac{1}{0.77}$$

DETERMINACIÓN DE FÓSFORO

(Prueba de Bray y Kurtz, 1968)

MATERIAL

- Matraz aforado de 1000 mL
- Botella de plástico
- Vaso de precipitado de 250 mL
- Papel Wathman número 40
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL

PRODUCTOS

- Fluoruro de amonio
- Ácido clorhídrico
- Molibdato de amonio
- Fosfato diácido de potasio
- Cloruro estañoso

REACTIVOS

a) Solución de fluoruro de amonio

En un matraz de 1000 mL colocar 37 g de fluoruro de amonio y aforar a 1000 mL con agua destilada. Guardar en una botella de plástico.

b) Solución extractiva

En un matraz aforado de 1000 mL diluir en agua destilada, 30 mL de la solución de fluoruro de amonio y agregar 50 mL de ácido clorhídrico 0.5 N prosiguiendo al aforo de 1000 mL con agua destilada.

Es una solución 0.03 N de NH_4F y 0.025 N de ácido clorhídrico. Guardar esta solución en botella de plástico.

c) Solución de ácido clorhídrico 0.5 N

En un matraz aforado de 1000 mL colocar 40.5 mL de ácido clorhídrico concentrado y aforarlos a 1000 mL de agua destilada.

d) Solución de molibdato de amonio

En un matraz aforado de 1000 mL colocar 15 g de molibdato de amonio y disolverlos en 350 mL de agua destilada, agregar 350 mL de ácido clorhídrico 10 N lentamente y con agitación, dejar enfriar a temperatura ambiente y aforar a 1000 mL con agua destilada. Esta solución se recomienda prepararla cada dos meses.

e) Solución tipo de fósforo

En un matraz aforado de 1000 mL colocar 0.401 g de fosfato diácido de potasio y aforar a 1000 mL con solución extractiva. La solución contiene 100 ppm de fósforo.

f) Solución de cloruro estañoso

En un matraz Erlenmeyer de 125 mL colocar 10 g de cloruro estañoso y disolverlos en 25 mL de ácido clorhídrico concentrado.

Preparar la solución cada seis meses. Cuando vaya a ser utilizada, es necesario mezclar 0.3 mL en 99 mL de agua destilada, esta disolución se recomienda prepararla cada 4 horas.

PROCEDIMIENTO

En un vaso de precipitado de 250 mL colocar 1 g de suelo y añadir 7 mL de solución extractiva y agitar durante 1 minuto, filtrar inmediatamente en papel Wathman número 40, tomar una alícuota de 1 mL y agregar 6 mL de agua destilada y 2 mL de solución de molibdato de amonio agitando, agregar 1 mL de solución reductora de cloruro estañoso, mezclar bien y dejar reposar durante 10 minutos.

Hacer las lecturas a una longitud de onda de 660μ . Determinar la cantidad de fósforo comparándola con la curva patrón.

FÓSFORO ppm	LECTURA A
0.5	0.01
1.0	0.02
2.0	0.05
3.0	0.07
4.0	0.095
5.0	0.10
6.0	0.123
8.0	0.165
10.0	0.205
15.0	0.30
20.0	0.405
25.0	0.50
30.0	0.603
35.0	0.705
40.0	0.8
45.0	0.903
50.0	0.99

Ver gráfica anexa, con línea de regresión lineal, para los datos anteriores de la curva patrón.

CURVA PATRÓN FÓSFORO

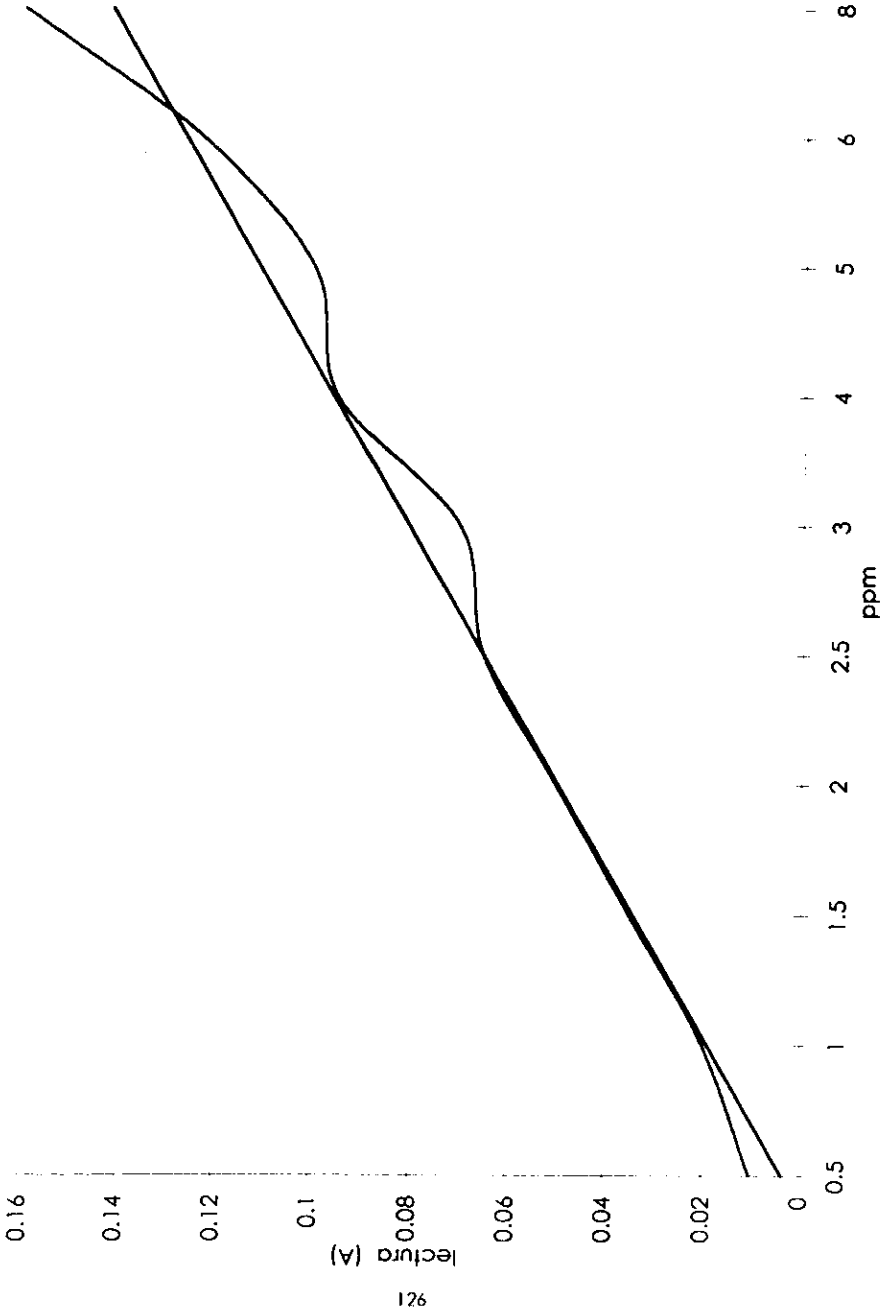


Figura 27. Curva patrón de fósforo

DETERMINACIÓN DE POTASIO

(Sahagún, 1985)

MATERIAL

- Matraz aforado de 1000 mL
- Matraz aforado de 100 mL
- Pipeta graduada de 10 mL
- Papel Wathman del número 40

PRODUCTOS

- Ácido acético glacial
- Hidróxido de amonio concentrado
- Cloruro de potasio
- Acetato de amonio

REACTIVOS

a) Solución de acetato de amonio 1 N con pH = 7

Solución A : en un matraz aforado de 1000 mL colocar 115 mL de ácido acético glacial, diluirlo con 500 mL de agua destilada y aforarlo a 1000 mL con agua destilada.

Solución B : en un matraz aforado de 1000 mL colocar 200 mL de hidróxido de amonio concentrado y diluirlo con 500 mL de agua destilada y aforar a 1000 mL con agua destilada.

A la solución A agregarle lentamente la solución B y dejar enfriar a temperatura ambiente, ya fría la solución ajustar el pH a 7 agregando ácido acético glacial o hidróxido de amonio concentrado.

b) Solución patrón de potasio

En un matraz de 1000 mL colocar 1.910 g de cloruro de potasio, disolverlos en 500 mL de agua destilada y aforar a 1000 mL con agua destilada.

Esta solución contiene 1000 ppm de potasio.

De la solución anterior tomar 1, 2, 5, 10, mL y colocarlos respectivamente en cuatro matraces aforados de 100 mL aforando con acetato de amonio a 100 mL. Las soluciones anteriores contienen 10, 20, 50 y 100 ppm de potasio.

De las solución de 100 ppm tomar alícuotas de 1, 2, y 5 mL y colocar cada alícuota en tres matraces aforados de 100 mL aforando con acetato de amonio a la marca.

Las soluciones contienen 1, 2 y 5 ppm de potasio respectivamente.

PROCEDIMIENTO

En un matraz Erlenmeyer de 125 mL colocar 10 g de suelo y suspenderlos en 100 mL de acetato de amonio, agitar durante 10 minutos y filtrar en papel Wathman del número 40.

Preparación de curvas patrón de potasio:

Etiquetar 8 cubas del fotómetro de llama con las siguientes descripciones: A, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100. La cuba A se llena con agua destilada y las otras con las soluciones que contengan las respectivas ppm de potasio, como se indica anteriormente.

El siguiente paso es calibrar el espectro fotómetro, se hace con las soluciones A y con la que contiene 100 ppm, ya terminada la calibración se introducen las soluciones restantes, los valores obtenidos se utilizan para trazar la curva sobre los valores obtenidos se utilizan para trazar la curva sobre la cual se medirán las muestras de tierra.

Para el caso del potasio el aparato debe llevar un filtro que debe tener una transmitancia de 763μ , ya que en este valor se efectúan las lecturas.

RESULTADOS

Se llena una cuba limpia con el extracto de suelo y se introduce el capilar en solución, se anotan las lecturas con su filtro correspondiente y se calcula la cantidad de estos elementos, comparándolos con la curva patrón.

CURVA PATRÓN

POTASIO ppm	LECTURA % T
1.0	17.0
2.0	22.5
5.0	25.0
10.0	22.0
20.0	30.0
50.0	61.0
70.0	78.0
90.0	89.0
100.0	100.0

A continuación se anexa la gráfica patrón elaborada con los datos anteriores con, su regresión lineal correspondiente.

CURVA PATRÓN POTASIO

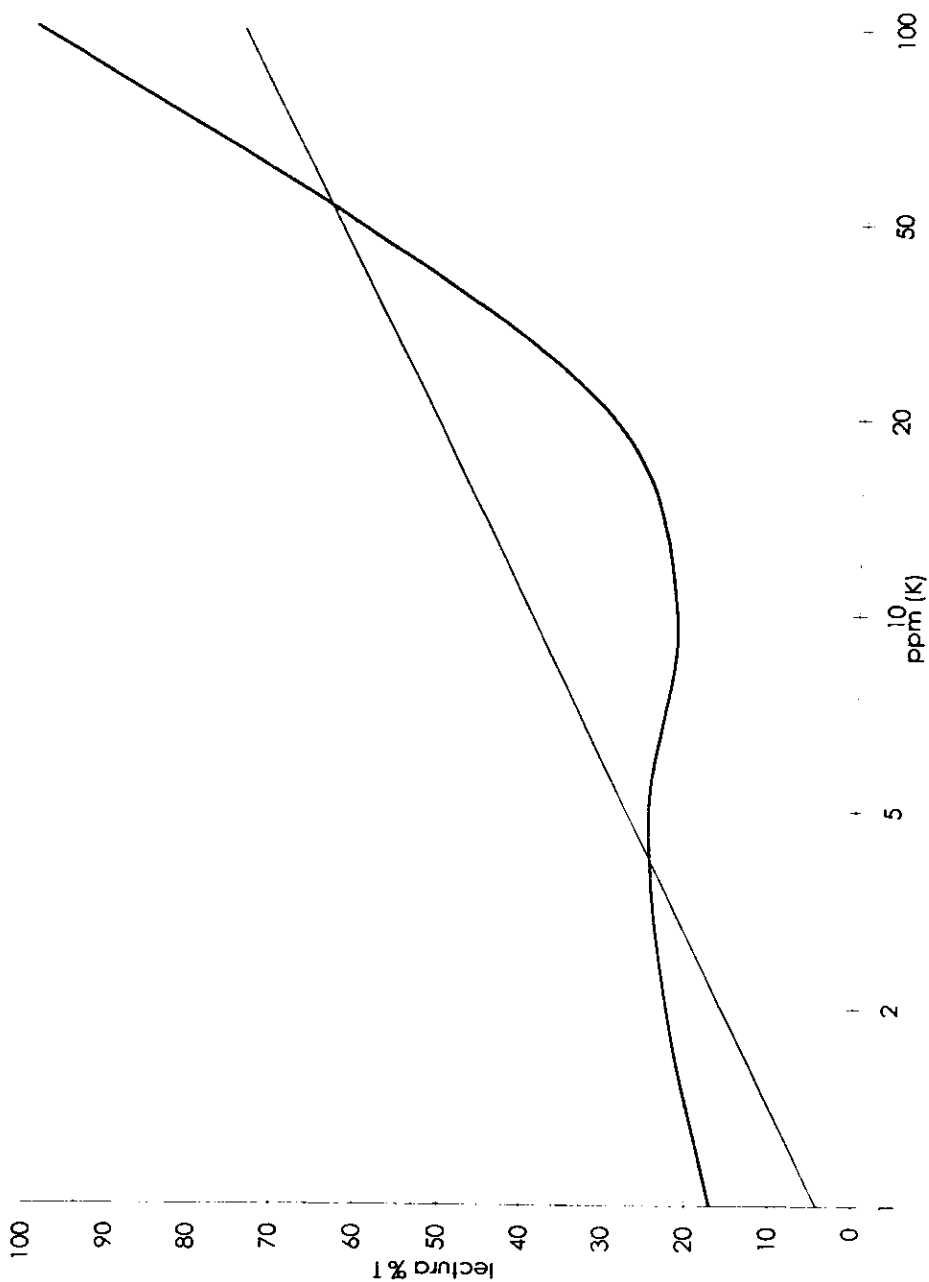


Figura 28. Curva patrón de potasio

DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

(Primo, 1973)

FUNDAMENTOS

- 1.- Extracción de la fracción húmica de la materia orgánica con NaOH.
- 2.- Fraccionamiento de la materia húmica por precipitación con H_2SO_4 .
- 3.- Valoración del ácido húmico y del ácido fúlvico.

MATERIAL

- Una bureta de 50 mL
- Un baño de agua de 2 litros
- Una centrífuga
- Un embudo de placa filtrante de 4 cm de diámetro
- Un matraz aforado de 100 mL
- Un matraz aforado de 250 mL
- Tres matraces Erlenmeyer de 500 mL
- Dos matraces Erlenmeyer de 250 mL
- Una pipeta de 20 mL
- Una agitador de vidrio
- Una pinza metálica para crisoles
- Dos buretas
- Una probeta de 100 mL
- Una probeta de 1 litro
- Dos vasos de precipitado de 100 mL
- Un vaso de precipitado de 250 mL
- Un vaso de precipitado de 800 mL
- Tres vidrios de reloj de 5 cm de diámetro
- Dos tubos de centrifuga de 50 mL
- Un soporte de 75 mL
- Un termómetro (0 - 100 °C)

PRODUCTOS

- Hidróxido sódico
- Ácido sulfúrico concentrado
- Permanganato potásico
- Oxalato sódico
- Oxalato amónico
- Papel indicador pH

REACTIVOS

a) Solución de hidróxido sódico, aproximadamente 5 N

1.- En un vaso de 250 mL de vidrio, se pesan 20 g de hidróxido sódico, en lentejas, se añaden 60 mL de agua destilada, se agita con un varilla de vidrio para disolver el hidróxido y se deja enfriar.

2.- Se pesa la solución a un matraz aforado de 100 mL, se lava el vaso con dos porciones de 10 mL de agua destilada, se pasan los lavados al matraz aforado y se diluye la solución hasta el aforo con agua destilada.

b) Solución de hidróxido sódico, aproximadamente 0.5 N

Con una pipeta, se toman 10 mL de la solución "a", se vierten en un matraz aforado de 100 mL y se diluye hasta el aforo con agua destilada.

c) Solución de hidróxido sódico al 0.5%

Con una pipeta se toman 25 mL de la solución "b", se vierten en un matraz aforado de 100 mL y se diluyen hasta el enrase con agua destilada.

d) Solución de ácido sulfúrico, aproximadamente 7 N

1.- En una probeta de 500 mL se vierte 400 mL de agua destilada y se pasa el líquido a un vaso de vidrio, de 1 litro.

2.- En una probeta de 100 mL, seca, se vierten 100 mL de ácido sulfúrico concentrado.

3.- Lenta y cuidadosamente se añaden los 100 mL de ácido sulfúrico al vaso que contiene los 400 mL de agua destilada.

4.- Se deja enfriar la solución y, una vez fría, se agita con una varilla de vidrio para conseguir una solución homogénea.

5.- Se deja enfriar durante unos minutos más y, cuando la solución está a temperatura ambiente, se guardan en un frasco de vidrio.

e) Solución de ácido sulfúrico (1:10)

1.- En un vaso de 250 mL se vierten 50 mL de agua destilada, medidos con probeta.

2.- Con una probeta se toman 50 mL de la solución de ácido sulfúrico, aproximadamente 7 N, se vierten en el vaso que contenga el agua destilada y se agita con una varilla de vidrio.

f) Solución valorada de permanganato potásico, aproximadamente 0.1 N

f.1) Preparación

1.- Se pesan 3.3 g de MnO_4K y se pasan a un vaso de 250 mL que contenga 150 mL de agua destilada calentada a 60 °C.

2.- Se ponen 5 porciones de unas 10 mL de agua destilada y se vierten los lavados en el vaso de 250 mL.

3.- Se agita el líquido para disolver la sal, se pasa la solución a una probeta, bien limpia, de 1 litro y se diluye hasta dicho volumen con agua destilada.

4.- Se agita la solución con varilla de vidrio de unos 50 cm de longitud y se pasa la solución a un frasco de 1 litro.

5.- Se deja reposar durante tres días, para que se oxide toda la sustancia orgánica que pudiese impurificar el agua, el producto o el material de vidrio y para que sedimente totalmente el dióxido de manganeso formado en esta oxidación.

6.- Se filtra la solución, a través de un embudo de placa filtrante de vidrio, y se guarda en un frasco de color topacio con cierre esmerilado y con una cubierta para protegerlo del polvo.

f.2) Valoración

1.- En un pesasustancias se coloca 1 g aproximadamente, de oxalato sódico, se coloca la tapa de la sustancias dejando una abertura para que pueda evaporarse la humedad y se introduce el pesasustancias con el oxalato sódico, en una estufa a 105 - 110 °C.

2.- Se seca el producto durante, por lo menos, dos horas a dicha temperatura.

3.- Se seca el pesasustancias de la estufa, tomándolo con unas pinzas metálicas, se deja enfriar durante treinta minutos en un desecador.

4.- Se seca el pesasustancias del desecador y en cada uno de los tres vidrios de reloj de 5 cm de diámetro se pesa con exactitud 0.1 g de oxalato sódico.

5.- El contenido de cada vidrio de reloj se pasa a un matraz Erlenmeyer de 250 mL.

6.- Se añaden a cada matraz 50 mL de agua recientemente destilada, arrastrando hacia el Erlenmeyer las partículas que queden adheridas en el vidrio de reloj.

7.- Se agita para disolver la sal, se añaden a cada matraz 50 mL de ácido sulfúrico (1:10) a temperatura ambiente y se agita para obtener una solución homogénea.

8.- Se calienta la solución justo hasta el punto de ebullición y se valora con la solución de permanganato potásico, aproximadamente 0.1 N, hasta que una gota de la misma origina un color rosa persistente durante treinta segundos.

9.- Se calcula el factor de la solución de permanganato potásico 0.1 N en la siguiente forma:

$$f = \frac{V \times 0.1 \times 0.067}{P} = 0.0067 \times \frac{V}{P}$$

siendo

V = volumen de permanganato potásico empleando en la valoración

P = peso de oxalato

$$0.0067 = \frac{134}{2 \times 1000} = \text{miliequivalente del oxalato sódico}$$

Para calcular dicho miliequivalente se tiene en cuenta que la reacción del oxalato sódico con el permanganato es la siguiente:



g) Solución valorada de oxalato amónico, aproximadamente 0.1 N

g.1) Preparación

1.- Se pesan 7.1 g de oxalato amónico ($\text{C}_2\text{O}_4 (\text{NH}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) se pasan a un vaso de 800 mL, se añaden 500 mL de agua destilada y se agita con varilla de vidrio para disolver la sal.

2.- Se pasa la solución a un matraz aforado de 1 litro, se lava el vaso con tres porciones de unos 25 mL de agua destilada, se pasan los lavados al aforado y se diluye hasta el enrase con agua destilada.

g.2) Valoración

1.- Con una pipeta, se toman 25 mL de la solución obtenida y se vierten en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.

2.- Se añaden 25 mL de agua destilada y 50 mL de ácido sulfúrico (1:10).

3.- Se calienta la solución justo hasta ebullición y se valora con la solución de permanganato potásico 0.1 N de factor conocido.

4.- Se calcula el factor de esta solución en forma siguiente:

$$f_o = \frac{V_{fp}}{25}$$

siendo

V = volumen de solución de permanganato potásico, con factor fp, empleado en la valoración

f_o = factor de la solución de oxalato amónico.

PROCEDIMIENTO

a) Extracción de la fracción húmica de la materia orgánica del suelo

1.- Se pesan, al rededor de 5 g de un suelo desecado al aire y tamizado (diámetro de 2 mm). (Si el suelo es muy orgánico puede tomarse menos gramos, y viceversa).

2.- La muestra se pone en un tubo de centrifuga y se agregan unos 30 mL de NaOH 0.5 %.

3.- Seguidamente se calienta en baño de agua, a 60 °C durante media hora; después se centrifuga a 4500 r.p.m., durante 5 minutos y el líquido queda incoloro tras la centrifugación.

4.- Se reúnen todos los extractos en un matraz aforado de 250 mL y se diluye hasta el enrase con agua destilado.

b) Fraccionamiento de la materia húmica

1.- Con una pipeta, se toman 20 mL de la solución antes obtenida y se vierten en un tubo de centrifuga.

2.- Se añade H₂SO₄, aproximadamente 7 N, hasta que la solución tenga un pH= 4, comprobándolo con papel indicador de pH.

3.- Se deja flocular durante diez minutos y se calienta ligeramente para activar la floculación.

4.- Se centrifuga durante 5 minutos a 4500 r.p.m.

5.- El precipitado obtenido en la centrifugación está constituido por los ácidos húmicos, mientras que los ácidos fúlvicos quedan en disolución. Para separarlos, se decanta la solución de ácidos fúlvicos a un vaso de 100 mL.

6.- Se lava el precipitado de ácidos húmicos con dos porciones de 10 mL de H_2SO_4 aproximadamente 7 N, añadiendo estos lavados a la solución de ácidos fúlvicos.

Si es necesario después de cada lavado puede centrifugarse, para asegurar una mejor separación del precipitado en la decantación del líquido de lavado.

7.- Se pasa la solución de ácidos fúlvicos a un matraz aforado de 100 mL, se lava el vaso con tres porciones de 5 mL de H_2SO_4 (1:10), vertiendo los lavados en el matraz aforado de 100 mL y se diluye hasta el enrase con agua destilada.

c) Valoración de los ácidos húmicos y fúlvicos

c.1) Ácidos húmicos

1.- Se disuelve el precipitado de ácidos húmicos en la menor cantidad posible de NaOH 0.5 N.

2.- Se pasa la solución a un matraz Erlenmeyer de 500 mL, se lava el tubo que contenía ácidos húmicos con dos porciones de 2 mL de NaOH 0.5 N y se pasan los lavados al matraz Erlenmeyer de 500 mL.

3.- Se añaden a este matraz 25 mL de MnO_4K 0.1 N y 25 mL de agua destilada.

4.- Se hierve la solución durante diez minutos, exactamente, se deja enfriar y se añaden 25 mL de H_2SO_4 aproximadamente 7 N.

5.- Se añaden 25 mL de oxalato amónico 0.1 N y se agita el matraz hasta que la solución que incolora.

6.- Se valora a retroceso, con MnO_4K 0.1 N, a 40 °C aproximadamente.

Al añadir la primera fracción de 25 mL de MnO_4K 0.1 N y hervir, se oxidan los ácidos húmicos, en medio alcalino y en caliente; el exceso de MnO_4K se reduce con el oxalato amónico añadido a continuación y el exceso de oxalato es el que se valora finalmente con MnO_4K 0.1 N. De esta forma, la cantidad de MnO_4K empleada en la valoración final es equivalente a la cantidad de ácidos húmicos que se valoran.

c.2) Ácidos fúlvicos

1.- Con la pipeta, se toman 25 mL de la solución de ácidos fúlvicos y se vierten en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.

2.- Se añaden 2 gotas de la solución de rojo de metilo y se valora con hidróxido sódico 5 N hasta el punto de viraje de dicho indicador.

3.- Se toma otra porción de 25 mL de la solución de ácidos fúlvicos y se vierte en un matraz Erlenmeyer de 500 mL.

4.- Se añade, a este matraz, el volumen de NaOH 5 N necesario para neutralizar la solución de ácidos fúlvicos (volumen determinado en los puntos 1 y 2).

5.- Se añaden 25 mL de MnO_4K 0.1 N y 25 mL de agua destilada al matraz Erlenmeyer de 500 mL, se hierve la solución durante diez minutos exactamente 7 N, y 25 mL de la solución de oxalato amónico 0.1 N y se agita hasta que la solución quede incolora.

6.- Se valora a retroceso con MnO_4K 0.1 N, a 40 °C aproximadamente.

Cálculos del contenido de ácidos húmicos y fúlvicos de la muestra
Según se ha comprobado empíricamente, cada mililitro de MnO_4K 0.1 N, gastado en la valoración, correspondiente a 1.02 mg de ácido húmico o fúlvico y los resultados se expresan en gramos por 100 g de muestra, secada en estufa a 30 °C.

Por lo tanto:

$$\begin{array}{l} \text{\% de ácidos} \\ \text{húmicos o} \\ \text{fúlvicos} \end{array} = \frac{1.02 (25f_1 - 25f_2 + Vf_1) * 100}{p} = \frac{(Vf_1 + 25 (f_1 - f_2)) * 0.102}{1000 * p}$$

siendo:

V = volumen de solución de MnO_4K , 0.1 N, con factor f_1 , empleado en la valoración final de los ácidos húmicos o fúlvicos.

f_2 = factor de la solución de oxalato amónico

p = peso de muestra correspondiente a la alícuota valorada.

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONICO

(Primo, 1973)

MATERIAL

- Una bureta de 50 mL
- Un matraz aforado de 1 litro
- Dos matraces Erlenmeter de 250 mL
- Una centrifuga
- Un cuenta gotas
- Una probeta de 25 mL
- Una probeta de 500 mL
- Un potenciómetro para medir pH
- Una pipeta de 10 mL
- Una pipeta de 25 mL
- Dos pinzas de bureta
- Un soporte universal
- Un tamiz de 2 mm de abertura de malla
- Dos tubos de centrifuga de 50 mL
- Un vaso de 1 litro

PRODUCTOS

- Trietanolamina (densidad 1.125 g/mL, 8 N)
- Cloruro bórico dihidratado
- Ácido clorhídrico
- Sulfato magnésico
- Etilendiaminotetracetato bisódico
- Cloruro amónico
- Hidróxido amónico
- Negro eriocromo T

REACTIVOS

a) Solución de cambio A (cloruro bórico, 0.5 N-trietanolamina, 0.2 N)

- 1.- Se disuelven 62 g de $\text{Cl}_2\text{Ba} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en 500 mL de agua destilada.
- 2.- Se añaden 25 mL de trietanolamina ($d= 1.125 \text{ g/ mL}$, 8 N).
- 3.- Se añade agua destilada hasta unos 800 mL.
- 4.- Se ajusta el pH a 8.1 por adición de ClH 1 N (unos 70-90 mL de esta solución son suficientes).
- 5.- Se afora a 1 litro.

b) Solución de cambio B (Solución de sulfato magnésico, aprox. 0.1 N)

Se disuelven 12.5 g de sulfato de magnesio ($\text{SO}_4 \cdot \text{Mg} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en agua destilada y se afora a 1 litro.

c) Solución complejante (EDTA 0.05 N)

Se disuelven 9.305 g de etilendiaminotetracetato disódico en agua y se afora a 1 litro con agua destilada (solución 0.05 N).

d) Solución tampón

Se mezcla una parte de solución de cloruro amónico 1 N (preparada disolviendo 26.75 g en 500 mL de agua) con cinco partes de solución de hidróxido amónico 1 N (preparada disolviendo 33.4 mL de amoniaco de 24 °Be en 500 mL de agua).

e) Indicador negro eriocromo T

Se disuelven 0.2 g de negro eriocromo T en 100 mL de la solución tampón.

PROCEDIMIENTO

a) Extracción de los iones del suelo con una solución de cloruro bórico

- 1.- Se pesan 1 ó 2 g de suelo, tamizado a través de un tamiz de 2 mm de abertura de malla, y se colocan en un tubo de centrifuga de 50 mL.

2.- Se añade al tubo, que contiene el suelo, 25 mL, exactamente medidos, de la solución de cambio A, y se agita con una varilla durante dos minutos.

3.- Se centrifuga durante cinco minutos a 3000 r.p.m.

4.- Se separa el líquido y se guarda el suelo saturado B⁺⁺ (El líquido claro separado puede servir para valorar la acidez de cambio).

b) Sustitución del Ba²⁺ por Mg²⁺

1.- Se añaden, al suelo resultante de las operaciones anteriores y en el mismo tubo, 25 mL, exactamente medidos, de la solución de cambio B y se agita durante un minuto.

2.- Se centrifuga durante cinco minutos a 3000 r.p.m.

c) Valoración del Mg²⁺

1.- Se toman 10 mL de la solución transparente, se vierten en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se diluyen a 100 mL con agua destilada.

2.- Se toman 10 mL de la solución de sulfato magnésico, se vierten en otro Erlenmeyer de 250 mL y se diluyen a 100 mL con agua destilada.

3.- A cada Erlenmeyer de 250 mL, se añaden 10 mL de solución tampón y 6 gotas del indicador negro eriocromo T y se valoran el magnesio hasta aparición de color azul.

CÁLCULOS

Capacidad de cambio en miliequivalentes por 100 g = C.C.

$$\text{C.C.} = \frac{(M - N) 0.05 \times 2.5 \times 100}{p} = \frac{(M - N) 12.5}{p}$$

donde :

M = mililitros de solución complejante empleados en valorar 10 mL de solución B (solución de sulfato magnésico).

N = mililitros de solución complejante empleados en la valoración de los 10 mL del extracto

p = peso en gramos de la muestra

2.5 = factor de dilución . (El suelo se extrajo con 25 mL de solución B y para la valoración, sólo se han tomado 10 mL del extracto).

NOTA:

- 1) En los suelos con mucha materia orgánica, para evitar la valoración de soluciones turbias, antes de añadir la solución B (solución de sulfato magnésico), se agita la muestra durante un minuto con 25.30 mL de H₂O₂, se centrifuga y se decanta el líquido, prosiguiéndose la determinación añadiendo 25 mL de solución B al suelo retenido en el tubo de la centrifuga.
- 2) Para la determinación de la capacidad de cambio de suelos neutros y alcalinos, se sustituye la solución de cambio A por una solución de (CH₃COO) Ba.H₂O al 10%, ajustada a pH= 7 por adición de ácido acético.

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO

(Métodos Normalizados, 1992)

MATERIAL

- Tubos de ensayo
- Pipeta
- Tubos de Centrifuga con tapones

REACTIVOS

- Solución digestora ($K_2Cr_2O_7$, H_2SO_4 , $HgSO_4$)
- H_2SO_4
- Ag_2SO_4

PROCEDIMIENTO

a) Preparación de la muestra

Moler 1 g de suelo, tamizarlo, colocarlo en un matraz aforado de 50 mL y con agua destilada aforar.

- 1.- Tomar 2 mL de muestra y colocarlos en un tubo de ensayo.
- 2.- Agregar 1 mL de solución digestora y 3 mL de H_2SO_4/Ag_2SO_4 .
- 3.- Colocar durante 30 minutos en la estufa a una temperatura de 165 °C.
- 4.- Sacar de la estufa y poner a enfriar.
- 5.- Centrifugar durante 30 minutos a 6500 r.p.m.
- 6.- Efectuar lecturas en el espectrofotómetro a 660.

Nota : Para preparar el blanco se sigue el mismo procedimiento, pero en lugar de poner 2 mL de muestra se colocan 2 mL de agua destilada.

DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL

(Método de Kjeldahl, 1953)

REACTIVOS

a) Ácido sulfúrico-ácido salicílico. Un gramo de ácido salicílico a 30 mL de ácido sulfúrico concentrado.

b) Tiosulfato de sodio, polvo seco de, aproximadamente, malla 20.

c) Mezcla de sulfatos. Mézclense diez partes de sulfato ferroso y media parte de sulfato de cobre; muélase la mezcla para que pase por un cedazo de malla 40.

d) Hidróxido de sodio, 450 g en un litro de agua.

e) Zinc musgoso, en pedazos grandes.

f) Ácido bórico, solución acuosa al 2 por ciento.

g) Ácido sulfúrico estándar, 0.1 N

Prepárese ácido clorhídrico de ebullición constante, de acuerdo con las indicaciones dadas por Hillebrand (1953). Normalícese el hidróxido de sodio libre de carbonatos, en función del ácido clorhídrico, utilizando el indicador de fenoftaleína. Prepárese ácido sulfúrico de aproximadamente 0.1 N y determínese la concentración exacta por titulación con hidróxido de sodio normalizado, utilizando el indicador de fenoftaleína.

h) Indicador verde de bromocresol-rojo de metilo.

Prepárese verde de bromocresol al 0.1 por ciento, agregando 2 mL de hidróxido de sodio 0.1 N por 0.1 g de indicador; prepárese 0.1 por ciento de rojo de metilo en alcohol etílico al 95 por ciento, añádase 3 mL de hidróxido de sodio 0.1 N por 0.1 g. Mézclense 75 mL de indicador verde de bromocresol con 25 mL de indicador rojo de metilo. Dilúyase a 200 mL con alcohol etílico.

PROCEDIMIENTO

1.- Transfírase la muestra pesada de material seco a un matraz Kjeldahl de 800 mL (10 g de material de suelo). El material deberá pasar por un tamiz de 2 mm.

2.- Agréguese 50 mL de la mezcla de ácido sulfúrico-ácido salicílico y revuélvase de tal modo que se ponga rápidamente en contacto con la muestra seca con el reactivo. Déjese en reposo hasta el día siguiente. Añádase 5 g de tiosulfato de sodio y caliéntese suavemente durante cinco minutos, aproximadamente, teniendo cuidado de evitar la formación de espuma. Enfríese, agrégese 10 g de la mezcla de sulfato y digiérase en el aparato de Kjeldahl, a pleno calor. Con materiales de suelos, la digestión se prosigue durante una hora, después de que la solución se haya aclarado.

3.- Cuando la digestión esté completa, enfríese y agrégese 300 mL de agua destilada y 100 mL de hidróxido de sodio concentrado. Agréguese un pedazo grande de cinc y, en material de suelos, dos cucharadas grandes, llenas de cuentas de vidrio (de 5 mm de diámetro). Conéctese a la cabeza de destilación, agítese y destílese 150 mL en 50 mL de solución de ácido bórico al dos por ciento, añada diez gotas del indicador verde de bromocresol-rojo de metilo y titúlese hasta la aparición de una coloración rosada pálida, con ácido sulfúrico estándar. Deberán prepararse testigos y efectuar la titulación hasta el mismo punto de final.

4.- Las determinaciones del contenido de humedad se hacen en muestras de 4 g de materiales de suelos, secándolos en un horno a 105 °C, exactamente durante cinco horas.

OBSERVACIONES

El indicador mezclado es verde en el lado alcalino y rojo en el ácido. El punto final es gris e incoloro. Las protecciones de asbesto son necesariamente para los matraces de digestión, a condición de que no se permita que la llama entre directamente en contacto con el matraz, por

encima del nivel de la mezcla ácida. Las conexiones de caucho del aparato de destilación deben ajustarse de tal modo que haya expuesto tan poco caucho como sea posible. Esta puede ser una fuente de contaminación con amoníaco.

Las diferencias pequeñas en la cantidad de ácido bórico y el volumen no tienen influencia sobre las cifras de la titulación; 50 mL de ácido bórico al dos por ciento se combinarán con, aproximadamente, 45 mg de nitrógeno de amoníaco. Sin embargo, hay un error creciente de sal en el punto final de la titulación, al aumentar la cantidades inferiores a 0.5 por ciento con 15 mg de nitrógeno.

Las determinaciones repetidas por este método en materiales de suelo del mismo recipiente, dan valores que van de 0.0502 a 0.0518 por ciento de nitrógeno total. El error probable del promedio de dos determinaciones será de 0.0002 mas menos por ciento de nitrógeno. En términos de error de porcentaje, representaría 0.39 mas menos. La diferencia entre el valor más elevado y el más bajo es de 3.1 por ciento.

MÉTODO CROMATOGRÁFICO DE GASES

(Métodos Normalizados, 1992)

MATERIAL

a) Cromatógrafo de gases

Todo aparato que se utilice debe ser equipado con un detector de conductividad térmica. Con algunos rellenos en columna se requieren estufas y controles de temperatura. Utilícese preferentemente una unidad con válvula de muestra de gas.

b) Registro

Utilice un registrador de banda de papel de amplitud total 10-mV con cromatógrafo de gases. Cuando se detecten componentes menores, como H_2 y H_2S , utilícese un registro de 1-mV.

c) Aparato de introducción de muestras

Se han diseñado un dispositivo equipado con válvulas de toma de muestras de gas que permiten la inspección automática en el cromatógrafo de un volumen de muestra específico. Si no se dispone de este aparato, introdúzcase las muestras con jeringa y aguja hipodérmica calibre 27. Redúzcase en escape de gas engrasado ligeramente el émbolo con aceite mineral o, preferiblemente, utilizando una jeringa hermética especial.

REACTIVOS

a) Gases portadores

Utilícese helio para separar los gases digestores.

b) Gases de calibración

Utilícense muestras de CH_4 de pureza conocida. También se emplean muestras de O_2 , si son estos los gases que van a medirse.

PROCEDIMIENTO

a) Preparación del cromatógrafo de gases.

Ajústese la tasa de flujo de gas portador a 60-80 mL/min. El aparato está listo para su uso cuando el registro marca una línea base estable. El gel de sílice y las columnas del tamiz molecular pierden actividad de forma gradual por la humedad o los materiales permanentemente absorbidos a temperatura ambiente. Si se producen separaciones insuficientes, reactivése por calentamiento o reempaquetado.

b) Calibrado

Para resultados exactos, prepárese una curva de calibración para cada gas a medir, pues los distintos componentes del gas no dan respuestas equivalentes del detector ni en función del peso ni de la concentración molar. Calíbrese con mezclas sintéticas con gases puros.

1) Mezclas sintéticas. Cómprese mezclas de gases de composición conocida o prepárense en el laboratorio. Inyéctense un volumen estándar de cada mezcla en el cromatógrafo de gas y anótese la respuesta para cada uno. Calcúlese por ordenador la respuesta del detector, como el área bajo la curva o como altura del pico, después de corregir para atenuación. Léanse cuidadosamente las alturas de los picos y relaciones con las concentraciones de los componentes de la muestra. Reproduzca exactamente los parámetros operativos de análisis en el siguiente. Si por este método no puede obtenerse una reproducibilidad suficiente, utilícese para calibrado las áreas de los picos. Prepárese la curva punteando tanto éstas como alturas frente a los porcentajes de volumen de cada componente.

2) Gases puros. Introdúzcanse en el cromatógrafo gases puros aislados mediante jeringas. Inyéctense volúmenes de muestra de 0.25, 0.5, 1.0 mL, etc., y realícese el trazado de respuestas del detector, corregido para atenuación, frente a los volúmenes del gas.

Cuando el sistema de análisis proporcione una respuesta lineal con concentración creciente del gas desde cero hasta el margen de interés, háganse pasar mezclas estándar con las muestras. Si éstas tienen el mismo tamaño, calcúlese la concentración del gas en proporción directa.

c) Análisis de la muestra.

Si las muestras van a inyectarse con jeringa, equipar el recipiente de recogida con un respiradero cerrado por un tabique de goma o silicona. Recójase la muestra para el análisis, vacíese de aire la jeringa presionando el émbolo e introdúzcase la aguja a través del tabique. Retírese el émbolo hasta tomar el volumen de gas deseado, extráigase la aguja del colector e inyéctese rápidamente la muestra en el cromatógrafo. Si las muestras han de inyectarse a través de una válvula de toma de gases, conéctese el recipiente de la muestra al tubo de entrada. Déjese fluir el gas desde el tubo de recolección a través de la válvula para purgar el espacio muerto de aire y llenar el tubo con la muestra. Normalmente son suficientes unos 15 mL para limpiar las líneas y proporcionar de 1 a 2 mL de muestra. Transvásese ésta desde el asa a la corriente de gas portador siguiendo las instrucciones del fabricante. Antes de la inyección, llévense las muestras a la presión atmosférica. Cuando las curvas de calibración se han preparado con mezclas sintéticas, utilícese el mismo volumen de muestra que el empleado durante dicho calibrado. Cuando se preparan por el método que emplea volúmenes diversos de gases puros, inyectables un volumen convencional de muestra de gas de unos 2 mL.

CÁLCULO

Cuando las curvas de calibración se han preparado con mezclas sintéticas y el volumen de muestra analizado es igual al utilizado en la calibración, léase directamente el porcentaje de volumen de cada componente en la curva de calibración.