

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**BIODEGRADACIÓN DE LAS HOJAS DE LA ESPECIE
EUCALYPTUS GLOBULUS EN EL PARQUE METROPOLITANO
GUANGÜILTAGUA DE QUITO MEDIANTE UN PROCESO
COMPOSTAJE Y SU POSIBLE UTILIZACIÓN EN EL
MEJORAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE
LA ZONA**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTORA: CYNTHIA PAOLA CAICEDO ALMEIDA

DIRECTORA: ING. LAURA HUACHI

QUITO-ECUADOR

2007-2008

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo en primer lugar a Dios por darme la oportunidad de vivir y por guiar mi camino paso a paso, en segundo lugar a mis padres Rodrigo y María Augusta, y a mis hermanos Cristina y Rodrigo, por creer siempre en mí y por su apoyo y cariño incondicional en cada momento de mi vida. A mis sobrinos Tomás e Isabel por ser mi alegría e ilusión, y a mi abuelita Betty y a mi gran amigo David Heredia que desde el cielo me llenan de bendiciones.

A mis grandes amigos: Alex, Andrea, Fernando, Sandra, Cristina, Gabriela y Daniela, porque sin su apoyo, confianza y amistad no sería lo que ahora soy, y a David por su paciencia, comprensión y amor que me ayudan a ser una mejor persona cada día.

AGRADECIMIENTO

Por su inmensurable ayuda en la realización de éste trabajo quiero agradecer a aquellas personas que han formado parte de mi vida durante estos cinco años de carrera Universitaria, de tal manera que mi más profundo agradecimiento para:

- La Universidad Internacional Sek, por mi formación personal y profesional.
- Ing. Laura Huachi, por su gran amistad, tiempo y guía en la elaboración de éste documento.
- A mis profesores: Ing. Katty Coral, Dr. Carlos Ordóñez, Dra. Karla Garcés, y Dra. Blanca Estela Bravo, por su cariño y apoyo.
- Al Consorcio Ciudad Ecogestión, y de manera especial al Ing. Jorge Esteban Oviedo, por su ayuda en la realización de éste proyecto.
- A mis padres Rodrigo y María Augusta y a mis hermanos Rodrigo y Cristina, por estar presentes en los momentos duros y felices de mi vida.
- A David Aguirre, por su ayuda, amor y apoyo en todo momento.

RESUMEN

El siguiente estudio, tiene como objetivo, aislar las especies fúngicas, degradadoras de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, en el Parque Metropolitano Guangüiltagua de Quito, con el fin de aplicar un sistema tradicional de compostaje que permita obtener como producto, un abono aplicable en la recuperación de las características propias del suelo de la zona. Para esto se ha establecido un proceso que consta de tres camas blanco, y tres camas para cada una de las dosis que se aplicará, las cuales son: diez, veinte y treinta ml. de cocktail de hongos por cada litro de agua inoculada, con el propósito de evaluar la biodegradación de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, tanto en tiempo de degradación como en contenido de macro y micronutrientes que permitan obtener un abono de alta calidad.

Las cinco especies de hongos utilizadas, fueron obtenidas a través de técnicas de selección, purificación y proliferación en el laboratorio, para ser inoculadas en las camas que luego de seis semanas de proceso de biodegradación de las hojas de *Eucalyptus globulus*, produjeron un abono de buena calidad, que puede ser aprovechado para el mejoramiento de las condiciones del suelo, o para la revegetación de plantas en el Vivero Guasipungo del Parque Metropolitano Guangüiltagua. El monitoreo continuo del proceso permitió establecer las siguientes características:

- El pH óptimo de las camas se mantuvo en un valor cercano a 7, es decir un valor neutro, y la temperatura óptima en aproximadamente 19 °C.
- La relación C/N obtenida es de 11.60 para las tres dosis inoculadas, la cual es adecuada e indica que la velocidad de mineralización es óptima y que el número de microorganismos se mantuvo estable.
- La cantidad de macro y micro nutrientes presentes en el abono obtenido, es apropiada para todas las dosis, sin embargo la dosis uno fue la más eficiente durante el proceso.

DESCRIPTORES

Eucalyptus globulus, hojas, compostaje, biodegradación, microorganismos degradadores, pH, temperatura, relación carbono-nitrógeno, dosis, nutrientes, abono orgánico.

ABSTRACT

The objective of the following study is to isolate fungi species, which degraded *Eucalyptus globulus*' leaves in the Metropolitan Park Guanguiltagua in order to apply a traditional composting system to obtain a good fertilizer applicable in the recovery of the soil's own characteristics. To achieve this goal, a pilot process has been designed with three witnesses reactors, and three reactors for each one of the doses that will be apply, which are: ten, twenty, and thirty milliliters of fungi cocktail by each liter of inoculated water, with the purpose of the evaluation of the process of the *Eucalyptus globulus*' leaves biodegradation, measured by the quantity of macro and micro nutrients.

The five fungi species used in the process, have been obtained through lab techniques of selection, purification and proliferation, and after six weeks of biodegradation of the *Eucalyptus globulus*' leaves a high quality fertilizer was obtained. This fertilizer can be useful in the improvement of the soil's quality or in the revegetation of plants in the Guasipungo greenhouse of the Metropolitan Park Guanguiltagua. With the continuous observation of this reaction the following characteristics were noted in the process:

- The optimum pH is 7, in other words it is neutral, and the optimum temperature is around 19°C.
- The C/N relationship obtained is 11.60 for the three doses. The C/N relationship is adequate and shows that the mineralization speed is optimum and the quantity of the microorganisms is equable.
- The quantity of the macro and micro nutrients contained in the organic fertilizer was appropriated for all the doses, but the doses number one was the most efficient during the process.

KEY WORDS

Eucalyptus globulus, leaves, composting, biodegradation, microorganisms, pH, temperature, C/N relationship, doses, nutrients, organic fertilizer.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN	3
1.2 HIPÓTESIS	4
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEORICO.....	5
2.1 GENERALIDADES DEL PARQUE METROPOLITANO GUALGUILTAGUA DE QUITO	5
2.1.1 ADMINISTRACIÓN	6
2.1.2 UBICACIÓN Y LÍMITES.....	7
2.1.3 CARACTERISTICAS NATURALES	8
2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GENERO EUCALYPTUS	9
2.3 ECOLOGIA DE LOS CULTIVOS.....	10
2.3.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	10
2.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.	10
2.4 INTERACCIONES DEL EUCALIPTO CON EL AMBIENTE.....	11
2.4.1 RELACIÓN DEL EUCALIPTO CON EL SUELO.....	11
2.4.2 RELACIÓN DEL EUCALIPTO CON EL CICLO DEL AGUA.	12
2.4.3 RELACIÓN DEL EUCALIPTO CON EL CICLO DE NUTRIENTES.....	13
2.4.4 RELACIÓN DEL EUCALIPTO CON LA BIODIVERSIDAD.....	14
2.5 FISILOGIA Y COMPOSICIÓN QUIMICA DEL ARBOL.....	15
2.6 CARACTERÍSTICAS DE LA CELULOSA	16
2.6.1 CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS DE LA CELULOSA	16
2.6.2 DEGRADACIÓN DE LA CELULOSA.....	17
2.6.3 MICROORGANISMOS FÚNGICOS DEGRADADORES DE CELULOSA ..	18
2.7. CARACTERÍSTICAS DE LA LIGNINA	18
2.7.1 CARACTERISTICAS BIOQUIMICAS DE LA LIGNINA	18
2.7.2 DEGRADACIÓN DE LIGNINA.....	20
2.7.3 MICROORGANISMOS FÚNGICOS DEGRADADORES DE LIGNINA	21
2.8 COMPOSTAJE.....	22
2.8.1 PROPIEDADES DEL COMPOST	23
2.8.2 CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS A COMPOSTAR.....	24
2.8.3 INDICES DE CALIDAD DEL COMPOSTAJE	25
2.8.4 ETAPAS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	28
2.8.5 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL COMPOST.....	30
CAPITULO III	33
METODOLOGÍA.....	33
3.1 MÉTODOS GENERALES DE ANÁLISIS	33
3.1.1 FACTORES EN ESTUDIO.....	33

3.1.2 VARIABLES EN ESTUDIO.....	33
3.1.3 UNIDAD EXPERIMENTAL	34
3.1.4 TRATAMIENTOS	34
3.2 METODOS ESPECÍFICOS	34
3.2.1 FASE DE CAMPO.....	34
3.2.1.1 INSPECCIÓN DE DIAGNÓSTICO DEL ÁREA EN ESTUDIO.....	34
3.2.1.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	35
3.2.1.3 AISLAMIENTO DE MICROORGANISMOS.....	35
3.2.1.4 SELECCIÓN DE MATERIAL CON MICROORGANISMOS FÚNGICOS CELULÍTICOS.....	35
3.2.1.5 MUESTREO MICROBIOLÓGICO.....	36
3.2.1.6 TRANSPORTE	37
3.2.1.7 ELECCIÓN DEL LUGAR PARA ESTABLECER EL DISEÑO DE LAS COMPOSTERAS.....	37
3.2.2 DISEÑO DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES	37
3.2.2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS COMPOSTERAS.....	37
3.2.2.2 COMPOSTAJE EN CAMPO.....	39
3.2.2.3 CONTROL DE VARIABLES AMBIENTALES	39
3.2.3 FASE DE LABORATORIO.....	39
3.2.3.1 PROLIFERACIÓN SELECTIVA.....	39
3.2.3.2 AISLAMIENTO DE HONGOS.....	41
- SEGUNDA SIEMBRA.....	41
3.2.3.3 PROLIFERACIÓN Y SELECCIÓN.....	42
3.2.3.4 PREPARACION DE COKTAIL DE HONGOS	44
3.2.3.5 CONSERVACION DE CEPAS FUNGICAS.....	44
3.2.3.6 CUANTIFICACIÓN DE CELULOSA Y LIGNINA.....	44
3.2.4 CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LAS VARIABLES DEL ENSAYO	45
3.2.4.1 PLAN DE INOCULACIÓN	45
3.2.4.2 PLAN DE VOLTEO Y AIREACIÓN.....	45
3.2.4.3 CONTROL DE VARIABLES AMBIENTALES	46
3.2.4.4 CARACTERIZACIÓN DEL ABONO OBTENIDO	46
3.2.4.5 OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE EFICIENCIA DEL ABONO.....	47
CAPITULO IV	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1 RESULTADOS DEL AISLAMIENTO DE MICROORGANISMOS FÚNGICOS CELULÍTICOS.....	49
4.1.1 RESULTADOS DEL MUESTREO DE FUENTES DE MATERIAL FÚNGICO	49
4.1.2 RESULTADOS DE LA PROLIFERACIÓN SELECTIVA.....	51
4.1.3 RESULTADOS DEL AISLAMIENTO DE MICROORGANISMOS FÚNGICOS	54
4.1.4 RESULTADOS SELECCIÓN Y PURIFICACIÓN.....	57
4.1.5 RESULTADOS ANTAGONISMO DE HONGOS	58
4.2 CONTROL DEL PROCESO.....	59
4.2.1 CONTROL DE VARIABLES AMBIENTALES	59
4.2.1.1 TEMPERATURA Y pH	60
4.2.1.3 CONTROL DE LA HUMEDAD	67
4.2.1.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	67
4.2.1.4 RESULTADOS DEL ABONO	70
CONCLUSIONES.....	77

RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Relación consumo de agua y producción de biomasa de algunas especies.....	13
Tabla 2. Límites máximos de metales pesados en Compst final (OMS 1985)	31
.....	31
Tabla3. Rango de niveles de contenido de nutrientes.....	32
Tabla 4. Contenido del medio minimal.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proyección de Haworth de la Molécula de Celulosa	16
Figura 2 Microorganismos que digieren celulosa.....	18
Figura 3: Esquema de la molécula de lignina.....	19
Figura 4. Etapas del proceso de compostaje.....	30

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos y dosis de las unidades experimentales	34
Cuadro 2: Cronograma de control de variables ambientales.....	46
Cuadro 3. Parámetros de análisis del abono obtenido	47
Cuadro 4. Resultados muestreo microbiológico Parque Metropolitano 2008.....	50
Cuadro 5. Coordenadas de los puntos de muestreo Parque Metropolitano Guanguiltagua 2008.....	51
Cuadro 6. Codificación de las muestras. Parque Metropolitano 2008.....	52
Cuadro 7: Resultados proliferación selectiva	52
Cuadro 8. Resultados segunda siembra microbiana	54
Cuadro 9. Resultados tercera siembra microbiana	56
Cuadro 10. Resultado aislamiento de especies fúngicas.....	56
Cuadro 11. Resultado siembra en medio comercial Sabouro.....	57
Cuadro 12. Resultado antagonismo de especies fúngicas.	59
Cuadro 13. Datos temperatura y pH. Dosis 1. Parque Metropolitano 2008.....	60
Cuadro 14. Datos temperatura y pH. Dosis 2. Parque Metropolitano 2008.....	62
Cuadro 15. Datos temperatura y pH. Dosis 3. Parque Metropolitano 2008.....	63
Cuadro 16. Datos temperatura y pH. Blanco. Parque Metropolitano 2008.	64
Cuadro 17. Comparación pH y temperatura de las dosis y el blanco. Parque Metropolitano. 2008.....	65
Cuadro 18. Valores conductividad eléctrica Dosis 1. Parque Metropolitano 2008.....	67
Cuadro 19. Valores conductividad eléctrica Dosis 2. Parque Metropolitano 2008.....	68

Cuadro 20. Valores conductividad eléctrica Dosis 3. Parque Metropolitano 2008.....	69
Cuadro 21. Valores conductividad eléctrica. Blanco. Parque Metropolitano 2008.....	69
Cuadro 22. Resultados químicos de los abonos obtenidos. Parque Metropolitano 2008.	71
Cuadro 23. Calculo índice de rendimiento del abono obtenido. Parque Metropolitano 2008.....	74
Cuadro 24. Resultados microbiológicos de los abonos obtenidos.....	75

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito, localizado en la Loma de Guanguiltagua, al norte de la ciudad, es una de las últimas áreas naturales disponibles dentro del valle de Quito. El territorio del parque tiene una extensión aproximada de 571,176 hectáreas, y una altura máxima de 2.988 m.s.n.m.

Alrededor del 60% del Parque Metropolitano Guanguiltagua, se encuentra habitado por distintas especies de eucalipto, siendo la más abundante la especie *Eucalyptus globulus*, la cual es una especie introducida a la zona y afecta el ecosistema del parque, pues se conoce que acelera la salinización del suelo, absorbe el agua de otras especies vegetales, y posee resinas que la hacen tóxica para ciertas especies animales y vegetales.

Al ser el parque una de las pocas áreas verdes de la ciudad, es necesaria su revegetación, con especies autóctonas, tanto de árboles como de otras especies menores, que le acrediten su calidad de Bosque Andino. Para ello, es de vital importancia la eliminación paulatina de la especie *Eucalyptus globulus* del parque, ya que ha sido la principal causante de la pérdida de calidad del suelo, no sin antes plantear un sistema de biotransformación de las hojas del mismo, mediante la utilización de composteras y la bioestimulación de microorganismos fúngicos propios de la zona, para obtener un abono orgánico y acondicionador de suelo, que pueda ser aplicado a pequeña y gran escala en el parque, y que a su vez permita mejorar la eficiencia económica de proyecto.

Se aplicará, además, la técnica de bioaumentación, la cual consiste en un procedimiento de aumentación de microfauna, mediante la adición de cultivos especializados, desarrollados para proveer mayor reducción orgánica o capacidad de degradar componentes previamente considerados biodregadables, con el objetivo no de reemplazar la biomasa existente, sino de aumentar su eficiencia.¹

¹ ALCALÁ, Irma “Biodegradación de residuos orgánicos lignocelulíticos” México 2003.

El compostaje, es un proceso de descomposición y estabilización de un sustrato orgánico, bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termofílicas como resultado del calor biológico para producir un producto estable, libre de patógenos y semillas, que puede ser beneficiosamente aplicado al suelo² y representa una de las técnicas más utilizadas, eficientes y económicas en la actualidad, razón por la cual se aplicará esta metodología, mediante el diseño de un bioproceso aeróbico in situ, en nueve camas o “composteras” inoculadas con distintas dosis, más tres camas blanco.

La eficiencia de la aplicación de la metodología en el proyecto, dependerá del control de parámetros ambientales tales como: humedad, temperatura, potencial hidrógeno (pH), dotación de oxígeno, concentración de microorganismos degradadores, y la ausencia de inhibidores o compuestos recalcitrantes.

El Consorcio Ciudad Ecogestión, es el encargado del manejo integral del Parque Metropolitano Guanguiltagua, el mismo que ha construido un vivero, en el cual se ejecutará la fase de campo del proyecto, aplicable a aproximadamente 10 hectáreas del Parque debido a su gran extensión y heterogeneidad de sus zonas.

El bioproceso, planteado, consta de cuatro fases:

- Aislamiento, selección y proliferación, de microorganismos.
- Diseño y construcción de todo el bioproceso, de acuerdo a las especificaciones técnicas del Consorcio Ciudad Ecogestión.
- Biotransformación de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, y control de variables con el que se caracterizará los elementos importantes del proceso.
- Caracterización del producto obtenido, y evaluación de su uso para mejoramiento del suelo.

² HAUG, Robert, “The Practical Handbook of Compost Engineering”, Lewis Publisher, Estados Unidos, 1998.

1.1 ALCANCE Y JUSTIFICACIÓN

El parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito, es uno de los más extensos remanentes de bosque que posee Quito. La presencia de las distintas especies de eucalipto, al ser especies introducidas al ecosistema, han deteriorado la calidad el suelo, y han acabado con gran parte de la flora y fauna propia del lugar. Es por esta razón, que el Consorcio Ciudad Ecogestión, ha decidido, como proyecto a futuro, la reforestación de la zona, no sin antes plantear un plan de manejo del eucalipto, que incluya la posible obtención de un abono orgánico, que ayude a mejorar las características del suelo, a partir de la degradación de sus hojas.

Debido a la irregularidad, y extensión del parque, se ha decidido, realizar el proyecto para aproximadamente diez hectáreas, por lo tanto los resultados obtenidos serán aplicables para la zona escogida, que presenta características propias de su ubicación, lo cual no quiere decir que el estudio no se pueda aplicar, en zonas con características similares a la escogida.

En la fase de laboratorio, se aislarán, seleccionarán y adaptarán, especies de hongos biodegradadores de las hojas de *Eucalyptus globulus* que serán utilizados en la fase de campo, más no se identificaran, quedando como tema pendiente para próximas investigaciones.

La fase de campo se realizará en el vivero Guasipungo del Parque Metropolitano de Quito, y una vez biotransformadas las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, se recogerá una muestra de cada dosis más una muestra del blanco, con el fin de determinar la calidad del abono obtenido mediante el análisis de macro y micronutrientes además de un análisis microbiológico, para poder definir si el producto final es aplicable o no como acondicionador de las características del suelo del parque.

1.2 HIPÓTESIS

La biotransformación de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, mediante un proceso de compostaje aerobio in situ, permitirá la obtención de abonos orgánicos, que podrán ser aplicables en el mejoramiento de las características, calidad y sostenibilidad del suelo del Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener mediante un proceso de biodegradación de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, presentes en el Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito, un abono orgánico con el fin de aplicarlo, en la recuperación de la calidad del suelo de la zona.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Aislar, microorganismos fúngicos, que degraden los componentes de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*.
- b) Seleccionar y adaptar microorganismos fúngicos con capacidad biotecnológica de degradar.
- c) Aplicar la técnica del compostaje en doce camas o composteras que contengan material picado, mezclado con estiércol, variando las dosis de inoculación de microorganismos.
- d) Caracterizar el producto obtenido del proceso de biotransformación de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus* mediante un análisis de macro y micronutrientes, además de la cuantificación de microorganismos del mismo.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 GENERALIDADES DEL PARQUE METROPOLITANO GUALGUILTAGUA DE QUITO

El Parque Metropolitano Guanguitagua de Quito (PMG), es un área natural en la que se conjugan distintas clases de elementos como grupos humanos, flora, fauna, zonas de esparcimiento. Por encontrarse dentro de la urbe cumple con varias funciones como pulmón purificador del aire, recreación, investigación científica, conservación de la biodiversidad.

El parque esta ubicado al nororiente de Distrito Metropolitano, constituye un sitio muy atractivo para la población, con una concurrencia de 20.000 visitantes los fines de semana llegando a duplicarse la cifra en los días feriados y vacaciones.³

Según el informe de Labores del Departamento de Parques y Jardines del Ilustre Municipio de Quito (1988-1992) se define a parques como áreas urbanas o rurales con medianas extensiones. Se constituyen por la agrupación de espacios apropiados para la ejecución de actividades individuales o colectivas, organizadas o espontáneas dentro de distintas escalas y magnitudes. Su objetivo es dotar al ciudadano de espacios de esparcimiento, ocio distracción y relación social; promover el contacto del hombre con la naturaleza, así como la ocupación del tiempo libre de los niños, jóvenes y ancianos, incentivar la utilización de juegos tradicionales y por ultimo relacionar al ciudadano con la expresión del arte.

Los datos que se detallan a continuación han sido tomados del Plan Maestro del PMG de la Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda bajo la dirección del Arquitecto Diego Carrión. Junio 2002.

³ VASCO PACHECO ANA LUCIA, "Propuesta para el desarrollo recreacional del Parque Metropolitano. QUITO ECUADOR, TESIS PUCE 2006

El Municipio de Quito y la Empresa Municipal de agua potable y alcantarillado, con el fin de concretar los planes programas y proyectos de interés ambiental para aplicarse en el Distrito, creó la Corporación de Salud Ambiental, Vida para Quito, la cual es una identidad de derecho privado sin fines de lucro, para realizar obras que mejoren la salud ambiental de la ciudad y de sus habitantes, encargada de administrar los recursos donados así como obtenidos y ejecutar proyectos ambientales a favor de la ciudad.

Su creación fue aprobada por el Consejo Metropolitano mediante resolución No.358 del 28 de Junio del 2001. El Ministerio del Ambiente aprobó el estatuto de la Corporación mediante Acuerdo Ministerial No.067 el 31 de Octubre del 2001.

2.1.1 ADMINISTRACIÓN

El Parque Metropolitano Guanguiltagua, es administrado desde el 2 de Marzo del 2007, por el Consorcio Ciudad-Ecogestión, el mismo que plantea convertir al PMG, en un referente nacional e internacional de gestión, con la participación de la comunidad, el gobierno local y el sector privado.

Entre los principales objetivos, del Consorcio Ciudad Ecogestión, se encuentran⁴:

- Mantener al PMG, como un espacio público incluyente, gratuito, abierto a toda la ciudadanía, y manejado con clara normatividad.
- Realizar programas de educación ambiental, recreación, cultura y turismo, a toda la ciudadanía.
- Implementar un programa de manejo ambiental, para todas las actividades que se realicen en su interior.
- Construir edificaciones e infraestructuras, acordes con el entorno natural, que satisfagan necesidades y causen el menor impacto ambiental y visual.
- Reducir el actual uso intensivo de agua en el PMG, mediante una zonificación y reorganización de los accesos y circulación interna.

⁴ Consorcio Ciudad Ecogestión. www.parquemropolitano.ec/home/seccionesContenidos.php?id=21. Lunes 25 de Febrero del 2008.

El Consorcio, ha establecido un acuerdo con algunas instituciones, entre ellas la Universidad Internacional SEK y su Facultad de Ciencias Ambientales, para desarrollar proyectos que permitan mantener el óptimo desarrollo del PMG.

El territorio declarado de utilidad pública por el Municipio de Distrito Metropolitano de Quito, es quizá uno de los últimos recursos naturales que quedan en el valle de Quito y sus alrededores, para desarrollar un proyecto de espacio público recreativo.

2.1.2 UBICACIÓN Y LÍMITES

El PMG se encuentra ubicado en el cerro Guanguitagua, al nororiente de la ciudad, dentro del área de protección ecológica con una superficie de 571,176 hectáreas.

El 30 de octubre de 1990 el Ilustre Consejo Municipal mediante Ordenanza No. 2818 determinó los límites y extensión del mismo:

- Nororiente: Av. Simón Bolívar y propiedades particulares de los barrios: San Vicente, San Pedro, Inchapicho, Nayón.
- Sur: Vía Interoceánica y propiedades particulares del barrio Bellavista.
- Occidente: Propiedades particulares de los barrios y urbanizaciones: Bellavista, Arroyo Delgado, Batan Alto, Borja Yerovi, Monte Serrín, La Petrolera, Ana Luisa, Mercantil, entre otros.

La altura máxima de este territorio alcanza los 2.998 m.s.n.m la que sumada a su proximidad a la mitad del mundo, hacen de este territorio una zona de temperatura moderada que puede ser disfrutada todo el año⁵.

⁵ www.vidaparaquito.com/parque_metropolitano.htm

2.1.3 CARACTERISTICAS NATURALES

El sector registra altitudes que van desde 2600 hasta los 2988 m.s.n.m. en su parte más alta, al oriente del cerro. Una limitada cobertura de suelo vegetal caracteriza a este territorio, producto del proceso erosivo y un inadecuado sistema de cultivo superficial al que ha sido sometido.

Las quebradas de influencia local, orientadas hacia el Machangara y occidentales hacia el valle y la canalización de la ciudad constituyen el drenaje del área.

- *Fauna*

El PMG cuenta con una gran diversidad de especies de fauna considerando su ubicación urbana. Se ha realizado algunos inventarios entre los cuales se puede nombrar, el inventario de la avifauna del Parque, el cual cuenta con 21 familias y 60 especies aproximadamente, de las que podemos destacar 10 especies de colibríes, 7 de tangaras una especie de pájaro carpintero, entre los más llamativos.⁶

- *Flora*

Gran Parte del área del PMG, especialmente la occidental y norte se hallan cubiertas por bosques, estos están constituidos mayormente por *Eucalyptus globulus* y en un pequeño porcentaje por *Pinus radiata*, ambas especies introducidas. El eucalipto es una especie que inhibe el crecimiento de otras especies de flora, haciéndolas escasas o nulas. El Pino, gracias a su gran producción de hojarasca que se deposita bajo la superficie arbórea, no permite el desarrollo de otras especies nativas. Por lo tanto estas dos especies, se han encargado de poblar masivamente grandes extensiones de terreno del Parque.⁷

El problema de las plantaciones radica en la enorme demanda de humedad y en el aumento de la acidez del suelo ocasionando así una mayor erosión. Existe además un

⁶ VASCO PACHECO ANA LUCIA, "Propuesta para el desarrollo recreacional del Parque Metropolitano". Quito 2005, Trabajo de grado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

⁷ ----- Quito Ecuador 2005.

remanente de vegetación natural que ha quedado en las quebradas y laderas en su mayoría. Estos son los que se considera los lugares más ricos en flora y fauna del lugar, pertenecientes al ecosistema denominado Bosque Andino.

2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GENERO EUCALYPTUS

El nombre científico de este árbol es *Eucalyptus sp.* de la familia de las Mirtáceas, aunque comúnmente se lo conoce como Eucalipto u Ocalipto, es un árbol originario de Australia y Tasmania. Ésta es una especie que llega a alcanzar hasta aproximadamente 100 metros de altura, que cuenta con una enorme presencia en todo el mundo. Se estima que hay unas 10-15 millones de hectáreas de plantaciones de especies del género *Eucalyptus*, de las cuales, más o menos la mitad, son plantaciones industriales. El área de eucaliptos en América Latina se estima en unos 4 millones de hectáreas, de los cuales 3 millones son plantaciones clasificadas como industriales. Su gran abundancia se debe a la capacidad de adaptación que posee y a su alta tasa de crecimiento en diferentes ambientes climáticos.

Es identificado por su corteza que se desprende en tiras, pero también por sus usos en la elaboración de aceites, miel, cremas y para usos medicinales. Este árbol es fuente de madera y carbón vegetal y entre sus más de 600 diferentes especies diseminadas por el mundo, la *Eucalyptus globulus* es la de mayor fama.⁸

El género *Eucalyptus* incluye alrededor de 600 especies, de las cuales diez son las más difundidas según la FAO, en un estudio realizado en 1981: *camaldulensis*, *globulus*, *grandis*, *maculata*, *paniculada*, *robusta*, *saligna*, *tereticornis*, *urophylla* y *viminalis*.

Ha atraído la atención a nivel mundial por su rapidez de crecimiento en períodos cortos de rotación y en medios exóticos. Las características botánicas del árbol hacen que utilice más agua para su desarrollo, ya que tiene un sistema radicular, que le permite obtener agua de las capas subterráneas, y la relación madera/ agua, es más alta, produciendo así mayor cantidad de biomasa que otros árboles.

⁸ <http://www.fao.org/DOCREP/004/AC459S/AC459S00.htm>

2.3 ECOLOGIA DE LOS CULTIVOS

2.3.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

El eucalipto prefiere climas húmedos, sin heladas, la temperatura media, debe ser superior a 3° C, con el óptimo entre 10- 15.5 ° C. La pluviosidad media anual debe ser de unos 500-1520 mm, y con una distribución uniforme del régimen de lluvias. Su distribución natural se localiza en climas templados- húmedos.⁹

Son limitantes de su crecimiento las heladas, bajas temperaturas, vientos fuertes, y las sequías (FAO, 1999). Tampoco se ven favorecidos por la sombra, por lo que soporta mal la cubierta o la competencia de otras especies.

La especie de eucalipto que más acogida ha tenido en los países del trópico y del subtropical es el *Eucalyptus globulus*.

2.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.

Este árbol, a diferencia de otras especies, no resulta especialmente exigente con el tipo de suelo, siendo capaz de crecer en sustratos pobres y ácidos.

Los mejores crecimientos se observan sobre suelos arcillosos, silíceos, sueltos y profundos, con una acidez moderada o neutra (con valores de pH entre 5 y 7). Las especies de Eucalipto no se desarrollan bien en suelos excesivamente calcáreos, muy alcalinos, así como también en suelos muy ácidos.

La profundidad del suelo es otro factor importante, observándose mayores crecimientos cuanto mayor es la profundidad. No obstante, debido a su vigor y plasticidad es capaz de crecer satisfactoriamente en suelos escasos o poco profundos, siempre que se realicen las labores adecuadas. Consigue tomar nutrientes que, estando a gran profundidad, serían inaccesibles en condiciones normales, reintegrándolos a las

⁹ <http://www.fao.org/DOCREP/004/AC459S/AC459S00.htm>

capas altas del suelo al perder la hoja. El eucalipto tiene un alto poder productivo sin necesidad de emplear abonos de forma continua, como los cultivos agrícolas.¹⁰

2.4 INTERACCIONES DEL EUCALIPTO CON EL AMBIENTE

2.4.1 RELACIÓN DEL EUCALIPTO CON EL SUELO.

Los tejidos vegetales tienen una serie de compuestos orgánicos con carácter ácido. El agua de lluvia que atraviesa las hojas o la corteza sufre un importante descenso del pH, y esta acidificación es más o menos acusada según el tipo de formación arbórea que se considere. El flujo de agua a lo largo del tronco, supone una concentración de la precipitación en las inmediaciones de las raíces del árbol de modo que la acción conjunta del lavado y la acidificación pueden ser causa de degradación extrema, llegando incluso a la podsolización (Calvo et al, 1979).

Al Eucalipto se le acusa de la acidificación extrema de suelos, del descenso del nivel freático, de la pérdida de nutrientes, y por lo tanto de la erosión del suelo, sin embargo hay una serie de estudios que demuestran que las consecuencias no son del todo devastadoras, dependiendo del tipo de cultivo, de las condiciones iniciales del suelo, y del uso que se le de a las plantaciones, los efectos pueden ser diferentes.

Los eucaliptos pueden llegar a causar serios problemas de erosión en los suelos. Estos procesos erosivos son muchas veces consecuencia de una falta de planificación y conocimientos a la hora de realizar las plantaciones. Las labores propias de la siembra del eucalipto implican una retirada previa de la vegetación autóctona ya que los jóvenes brotes son bastante sensibles a la competencia.¹¹

¹⁰ <http://www.ecoaldea.com/plmd/eucalipto.htm>

¹¹ http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/ing%20rizzo/forestacion/especies_maderables.htm

2.4.2 RELACIÓN DEL EUCALIPTO CON EL CICLO DEL AGUA.

El efecto del eucalipto sobre el ciclo del agua es quizá uno de los más rápidos en ser comprobados. Como cualquier especie de crecimiento rápido, el eucalipto utiliza grandes volúmenes de agua (si está disponible) para producir en poco tiempo una importante cantidad de biomasa.

El Eucalipto tiene distintos mecanismos de interceptación del agua de precipitación, entre los cuales tenemos: ¹²

- Absorción a través de las raíces, debido al fuerte desarrollo de su sistema radicular.
- Retención de agua por la cubierta vegetal.
- Escorrentía o agua que circula superficialmente por el horizonte superior. Puede ser causante de importantes pérdidas de suelo por erosión, principalmente en terrenos inclinados, pero no afecta al nivel de los caudales de agua.
- Flujo de tallo. Se valora por la forma en que afecta a la distribución de agua en el suelo ya que actúa en un pequeño círculo alrededor de cada pie de planta donde puede suponer desde 2 a 8 veces la precipitación. Probablemente son aguas que infiltran rápidamente hacia las capas más profundas del perfil.

La extraordinaria productividad del eucalipto y los altos valores de evapotranspiración de sus hojas hacen del eucalipto un árbol con un enorme consumo de agua. La mayor parte de los estudios hacen una estimación global de este consumo en base a registros de humedad del suelo o al descenso de caudal de agua de las cuencas forestadas. Al consumir el Eucalipto la mayor parte del agua con su fuerte desarrollo radicular, compite ventajosamente con la vegetación vecina, y puede afectar el descenso del nivel freático, así como también la disminución del caudal de pequeños arroyos y pozos no tan profundos.¹³

¹² <http://www.ecoaldea.com/plmd/eucalipto.htm>

¹³ ECUADOR, SUBSECRETARÍA DEL AMBIENTE. CARRERE, Ricardo, “ Pinos y Eucaliptos en Ecuador, símbolos de un modelo destructivo, 2005

Al tener el eucalipto una mayor densidad de madera, la relación madera- agua, es también mayor, produciendo así la mayor cantidad de biomasa, comparada con otros árboles, como se describe en la tabla 1.

Tabla 1: Relación consumo de agua y producción de biomasa de algunas especies.

ESPECIE	Agua consumida (l)	Biomasa producida (g)	Relación consumo de agua/biomasa producida
<i>Pongamia pinata</i>	679	520	1,3
<i>Albizia lebbek</i>	1371	2355	0,58
<i>Syzygium wmini</i>	1460	2386	0,61
<i>Acacia auriculiformis</i>	1475	1713	0,86
<i>Dalbergia sisso</i>	1794	2005	0,89
<i>Eucalyptus hybrid</i>	2662	5209	0,51

Fuente: CARRERE, Ricardo, 2005.

2.4.3 RELACIÓN DEL EUCALIPTO CON EL CICLO DE NUTRIENTES

El consumo neto producido por una determinada especie forestal es mucho mayor durante los primeros años de crecimiento que cuando ésta llega a alcanzar un cierto desarrollo. En formaciones equilibradas maduras llega un momento en que prácticamente se igualan las sustracciones con los aportes en forma de materia orgánica. Esto es igualmente válido para los eucaliptos, que en su medio natural dan lugar a suelos estables con un reciclaje de los elementos minerales a través de la hojarasca. Sin embargo, en las plantaciones de este árbol con fines industriales, los ejemplares nunca llegan a alcanzar edades elevadas. Habitualmente los tiempos de rotación de los cultivos eran de 58 años y permitían una cierta recuperación de nutrientes en el suelo. Actualmente, los ciclos se han reducido a menos de 20 años e incluso a menos de 10. Con estos cortos ciclos los sistemas

forestales con eucalipto suponen un descenso de las reservas del suelo que, además, se incrementa por la acción del drenaje al tratarse de una zona de precipitación intensa.¹⁴

Determinadas características de la hojarasca que produce el Eucalipto afectan a la fertilidad del suelo por la alteración del horizonte orgánico. Este horizonte, en plantaciones de eucalipto, está formado únicamente por restos vegetales en vías de descomposición. La materia orgánica se degrada, muy lentamente y, por su propia naturaleza constitutiva, libera gran cantidad de polifenoles que inhiben la mineralización de los compuestos orgánicos y la formación de complejos organominerales, por lo tanto puede darse una reducción de la fertilidad del suelo, por el descenso de elementos minerales. Se podría entonces decir que el Eucalipto tiene un efecto degradativo en el ciclo de nutrientes del suelo¹⁵.

2.4.4 RELACIÓN DEL EUCALIPTO CON LA BIODIVERSIDAD

El eucalipto es un árbol muy eficaz en la competencia con otras especies vegetales. En Australia se encuentra dominando la mayor parte de las formaciones naturales y compone ecosistemas de extraordinario valor ecológico. Suele caracterizarse por su agresividad respecto a posibles especies acompañantes. Compite ventajosamente por el agua y los nutrientes y sus hojas exudan sustancias alelopáticas que impiden la germinación de gran número de especies vegetales.

La fauna también se ve afectada por los eucaliptales. *Eucalyptus globulus* no tiene hojas o frutos apetecibles para la fauna ni tampoco ofrece sombra donde cobijarse. Sólo las abejas se han adaptado, aprovechando el néctar de las flores para producir miel.

La macrofauna del suelo también tiene el riesgo de reducirse, incidiendo directamente en la remoción de tierra y en la aireación de los horizontes superficiales. Por otro lado, la microbiología del suelo también se ve afectada, registrándose una disminución de la actividad biológica¹⁶.

¹⁴ <http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/ing20rizo/forestacion/especiesmaderables.htm>.

¹⁵ <http://www.ecoaldea.com/plmd/eucalipto.htm>

¹⁶ <http://www.ecoaldea.com/plmd/eucalipto.htm>

2.5 FISILOGIA Y COMPOSICIÓN QUIMICA DEL ARBOL

El eucalipto está fundamentalmente constituido por el denominado aceite de eucalipto, el cual es un aceite volátil destilado a partir de sus hojas frescas, es un líquido incoloro o ligeramente amarillento que tiene propiedades aromáticas características. El componente principal de este aceite es el denominado eucaliptol.

El eucaliptol o cineol es un líquido incoloro que tiene un olor característico, constituye del 70 al 80% del aceite de las hojas de la planta, es de sabor picante y refrescante, el cual puede ser obtenido por destilación de los aceites de esta planta para su posterior enfriamiento o bien tratando el aceite con ácido fosfórico y agua¹⁷. Los componentes del aceite esencial del eucalipto, son: phellandren alfa, limones 1.8 cineol, pinoarveol-trans-verberol-cis, armadendres y globulol. Además de este cineol, el aceite de eucalipto está compuesto de pequeñas cantidades de aldehídos volátiles, terpenos, sesquiterpenos, aldehídos aromáticos, alcoholes y fenoles. Muchos de estos componentes menores tienen propiedades irritantes y son removidos por redestilación del aceite.¹⁸

El árbol posee un tallo grueso y ramas fuertes, así como hojas perennes (variables de acuerdo a su estadio de crecimiento) de diferentes formas y flores grandes agrupadas en racimos con 2 ó 3. El fruto es un poco más grande que la flor, con características leñosas, plano por un lado, el cual se puede abrir en 4 ó 5 dientes. La hoja de las ramas adultas de eucalipto contiene del 1.5 al 3.5% de aceite esencial, del cual al menos un 70% corresponde al componente eucaliptol. Otros componentes activos en la hoja son los taninos hidrolizables, ácidos fenólicos, flavonoides y triterpenos.¹⁹

La celulosa es una fibra vegetal que representa el 50% aproximadamente, de la constitución física del árbol. La estructura química de la celulosa se forma mediante la unión de moléculas de glucosa, adheridas entre sí por la lignina. Esta sustancia refuerza las células, confiriéndoles consistencia y rigidez. El eucalipto es utilizado para la extracción de celulosa y fabricación de papel, ya que crece rápido y es más dócil en el proceso industrial de separación de las fibras.²⁰

¹⁷ ZAID Leyla “Estudio del biodeterioro en madera de Eucalyptus Globulus, Lab, Método Gravimétrico.” Chile 2004

¹⁸ ZAID Leyla. 2004

¹⁹ www.ecoaldea.com/plmd/eucalipto.htm

²⁰ www.accionecologica.org/index.php?option=com_content&task=view&id=568&Itemid=7558

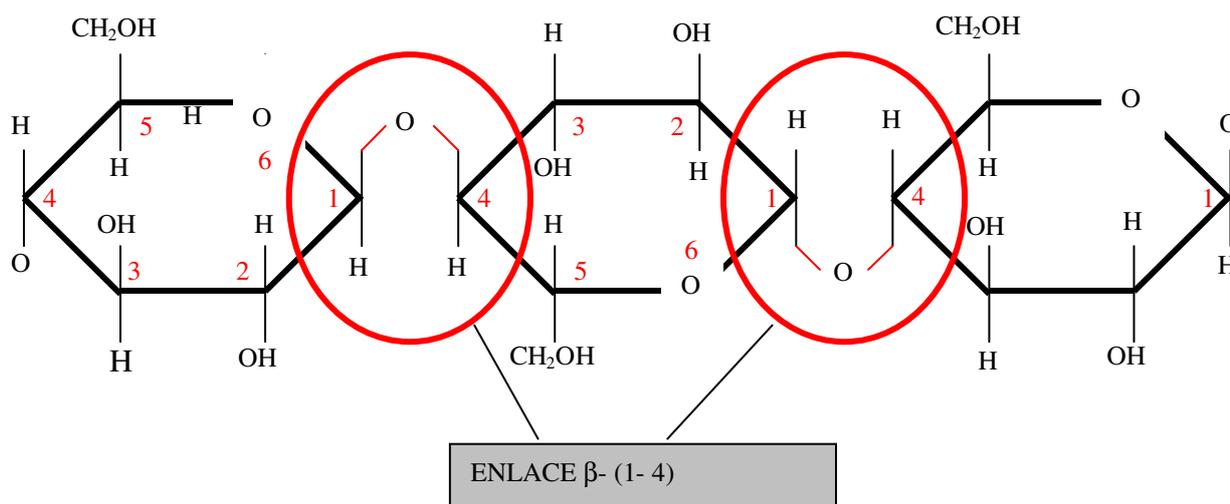
2.6 CARACTERÍSTICAS DE LA CELULOSA

2.6.1 CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS DE LA CELULOSA

La celulosa es un polisacárido vegetal, que determina la estructura de la pared celular de las plantas. Representa un 40 – 70% del contenido de los vegetales, formando parte de los tejidos de sostén. Corresponde la biomolécula más abundante de la biomasa terrestre, de aquí se subraya la importancia de los degradadores de celulosa en la mineralización y el ciclo del carbono. . La insolubilidad de la celulosa y su alta resistencia mecánica se debe a la presencia de puentes hidrógeno inter e intramoleculares y a fuerzas de Van der Waals. Los aportes de celulosa al suelo varían mucho con la región, el clima y los cultivos.²¹

Las moléculas de celulosa varían de tamaño entre 300 y 15.000 residuos de glucosa. Su fórmula empírica es $(C_6H_{10}O_5)_n$, con un valor mínimo de $n= 200$ y su estructura con la proyección de Haworth (Ver figura 1).La estructura de la celulosa se forma por la unión de moléculas β -glucosa, a través de enlaces β -1,4-glucosídico, lo que hace que sea insoluble en agua.²²

Figura 1: Proyección de Haworth de la Molécula de Celulosa



Fuente: BAQUERO, Juan Pablo, 2005.

²¹ SHEGEL, Hans. "Microbiología General", Ediciones Omega, Barcelona 1998

²² <http://www.divulcat.com/enciclopedia/Celulosa>

2.6.2 DEGRADACIÓN DE LA CELULOSA

En los suelos bien aireados, la celulosa es degradada y utilizada por microorganismos aerobios (hongos, mixobacterias y eubacterias), mientras que en condiciones anaerobias, lo es por clostridios. La celulosa, al igual que otros compuestos de alto peso molecular, no puede ser tomada directamente por la célula, sino que tiene que ser hidrolizada fuera de la célula por despolimerasas que son segregadas en forma de exoenzimas. En muchos microorganismos celulíticos se puede comprobar la existencia de celulasas que degradan la celulosa hasta glucosa o hasta el disacárido celobiosa.²³

La celulolisis es catalizada por un sistema constituido por tres enzimas:

- Endo-b-1,4-glucanasa que ataca los enlaces b-1,4 en las regiones amorfas internas de la macromolécula dando largos fragmentos solubles (oligosacáridos),
- Exo-b-1,4-glucanasa que separa el disacárido celobiosa desde los extremos de la molécula.
- b-glucosidasa que hidroliza la celobiosa con formación de glucosa²⁴

Los hongos tienen más éxito que las bacterias durante la celulolisis en los suelos ácidos o en la madera (lignocelulosa). Excretan celulasas que pueden ser aisladas del medio de cultivo así como del micelio.

Las sustancias con las que está asociada la celulosa en los desechos vegetales influyen sobre la velocidad de la descomposición. “La degradación de 30g de celulosa, de los cuales 20 a 30% sirven para la síntesis microbiana, exigen la provisión de 1g de nitrógeno. Cuando la presencia de lignina hace más lenta la celulolisis se requiere menos cantidad de nitrógeno, porque éste es poco a poco reciclado. Para los hongos que hidrolizan lignina y celulosa la relación C/N es mayor que 300. Los nitratos favorecen la actividad de las bacterias mientras que el amonio y los aminoácidos son mejor utilizados por las mixobacterias y los hongos.”²⁵

²³ SHEGEL, Hans. “Microbiología General”, Ediciones Omega, Barcelona 1998

²⁴ CARRILLO Leonor “ Microbiología Agrícola” 2003

²⁵ CARRILLO Leonor. 2003

2.6.3 MICROORGANISMOS FÚNGICOS DEGRADADORES DE CELULOSA

Existe un gran número de microorganismos celulolíticos, principalmente hongos y bacterias. Sin embargo, los hongos juegan un papel muy importante en la degradación de la celulosa, por lo que cabe mencionar algunas especies como: *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus nidulans*, *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Trichoderma viride*, *Chaetomium globosum*, *Myrothecium verrucaria* y el género *Fusarium*.

Figura 2 Microorganismos que digieren celulosa

Algunos microorganismos que digieren celulosa (4, 7)				
Organismos eucarióticos				
Quitridiomicetos	Hongos mitospóricos	Ascomicetos	Basidiomicetos	
<i>Neocallimastix</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Chaetomium</i>	<i>Coprinus</i>	
<i>Orpinomyces</i>	<i>Botrytis</i>		<i>Fomes</i>	
<i>Piromonas</i>	<i>Fusarium</i>		<i>Pleurotus</i>	
<i>Sphaeromonas</i>	<i>Humicola</i>		<i>Polyporus</i>	
	<i>Myrothecium</i>		<i>Trametes</i>	
	<i>Trichoderma</i>		<i>Rhizoctonia</i>	
Organismos procarióticos				
Mixobacterias	Bacterias deslizantes	Bacterias aerobias	Bacterias anaerobias	Actinomicetos
<i>Archangium</i>	<i>Cytophaga</i>	<i>Cellulomonas</i>	<i>Bacteroides</i>	<i>Micromonospora</i>
<i>Polyangium</i>	<i>Sporocytophaga</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Butyrivibrio</i>	<i>Streptomyces</i>
<i>Sorangium</i>			<i>Clostridium</i>	<i>Streptosporangium</i>
			<i>Eubacterium</i>	
			<i>Ruminococcus</i>	

Fuente: CASTILLO, Leonor, 2003.

2.7. CARACTERÍSTICAS DE LA LIGNINA

2.7.1 CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS DE LA LIGNINA

La palabra lignina viene del latín *lignum*, leño, sustancia compleja y de composición variable que acompaña a la celulosa en las membranas internas de los vegetales. Las ligninas son polímeros mixtos, de moléculas grandes ramificadas y resistentes, tanto al ataque de las sustancias químicas como a la acción de los

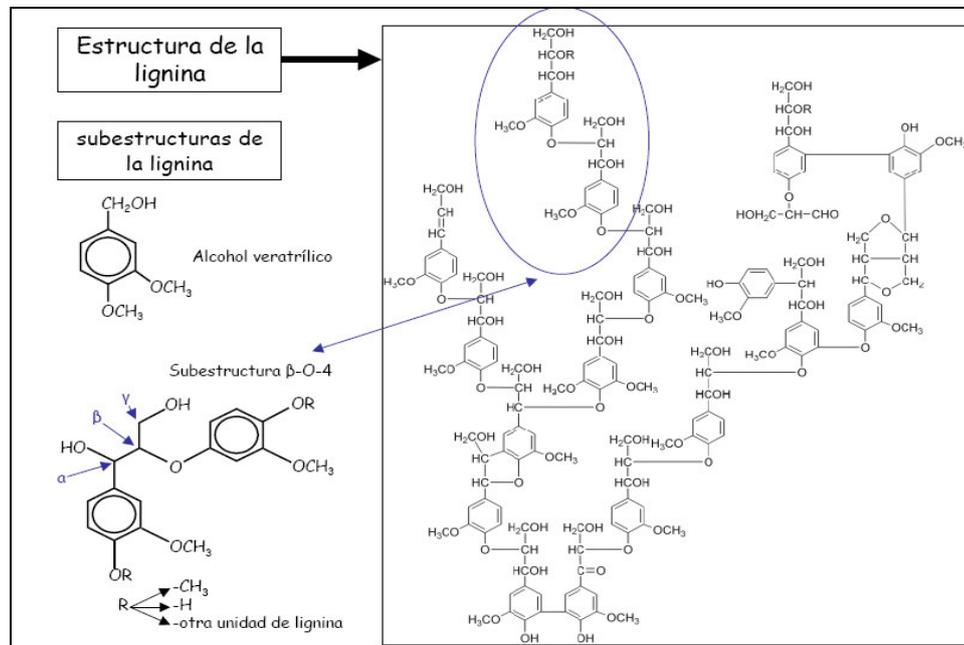
microorganismos. Sin embargo, la lignina es disuelta por los reactivos sódicos y por el cloro, que la convierten en subproducto soluble en el agua.²⁶

Es el constituyente intercelular incrustante o cementante de las células fibrosas de los vegetales. Su función principal es la de relleno para impedir la rigidez al tallo de la plantas. Es el segundo elemento en importancia de la composición vegetal.

Representa el 30% de los componentes del vegetal. Si se eliminan las celulosas, carbohidratos, azúcares, sales inorgánicas y las proteínas sólo resta el peso de la lignina. Está ubicada en la lámina secundaria de las paredes celulares y es el componente de las plantas degradado más lentamente

Es una molécula químicamente no uniforme y de alta complejidad debido al gran número de diferentes enlaces que unen a los monómeros. (Ver figura 3). Las diferencias en la composición de las ligninas se manifiestan en el contenido de grupos metoxi, lo cual la hace un producto final inerte del metabolismo vegetal y solamente es degradada por microorganismos.²⁷

Figura 3: Esquema de la molécula de lignina



Fuente: www.biofuel2g.com/Ponencias/Gerardo_pisabarro.pdf

²⁶ <http://www.ecologia.edu.mx/publicaciones/resumenes/5.1/pdf/Barcnas%20y%20Davalos201999.PDF>

²⁷ www.biofuel2g.com/Ponencias/Gerardo_pisabarro.pdf

2.7.2 DEGRADACIÓN DE LIGNINA

La degradación de lignina ocurre en presencia de oxígeno y glucosa. El sistema enzimático contiene peroxidasas que catalizan la ruptura oxidativa de los enlaces b-O-4 éter y los C-C de la lignina y requieren H₂O₂ proveniente de la oxidación por la glucosa-oxidasa. La formación de peroxidasas es promovida por la limitación de nitrógeno y la descomposición de la lignina.²⁸

La lignina en la madera confiere una protección física a la celulosa y hemicelulosa contra el ataque enzimático. Existe una gran cantidad de organismos (bacterias y hongos) con las enzimas hidrolíticas necesarias para degradar la celulosa y hemicelulosa, pero en lo referente al ataque y mineralización de la lignina el número de organismos es mucho más limitado. Los únicos organismos descritos con la capacidad de degradar y mineralizar la lignina son un grupo de basidiomicetes causantes de la pudrición blanca. Estos hongos, en su mayoría pertenecientes a los órdenes *Aphyllphorales* y *Agaricales* poseen un complejo de enzimas oxidasas y peroxidasas que catalizan las primeras reacciones que rompen uniones dentro de la compleja molécula de lignina, generando moléculas más pequeñas, y luego hay una incorporación de estos productos de degradación a los ciclos metabólicos del organismo que como producto final dan CO₂.²⁹

Durante el compostaje aerobio, varios factores influyen en la descomposición de la lignina, siendo uno de ellos, las condiciones para el mejor desenvolvimiento de los hongos de la podredumbre blanca, éstos son³⁰:

- Nitrógeno adecuado
- Humedad relativa
- Temperatura

²⁸ ALCALÁ, Irma "Revista Internacional de contaminación ambiental" Universidad Autónoma de México. 2003. pp. 37-45

²⁹ www.reviberoammicol.com/2003-20/016020.pdf

³⁰ www.lombricompostaje.com.ar/descargas/Biodegradabilidad_de_los_elementos_vegetales_de_sosten.doc

2.7.3 MICROORGANISMOS FÚNGICOS DEGRADADORES DE LIGNINA

Los hongos son de vital importancia en la descomposición de hojas, plantas muertas, árboles y otros residuos orgánicos lignocelulósicos que se acumulan en el suelo. A causa del importante papel que desempeñan en el suelo, tienen importancia en la descomposición de materia orgánica seca, y en una gran variedad de componentes orgánicos que tienden a resistir su descomposición por bacterias. En ello es importante la capacidad de algunos en descomponer lignina, ya que esta capacidad no la tienen las bacterias, a las que les falta la enzima oxidante clave, la peroxidasa, que ayuda a romper las uniones entre los grupos aromáticos en la lignina. Esta enzima da también a algunos hongos la capacidad de degradar algunos productos químicos peligrosos resistentes. Hasta el momento se conocen cuatro tipos de enzimas peroxidasa ligninolíticas: lignina peroxidasa (LiP), manganeso peroxidasa (MnP), peroxidasa versátil (PV) y lacasa.³¹

La lignina no es una fuente aprovechable para el crecimiento de los hongos sino que es necesaria la presencia de un cosustrato (3). Por lo tanto la adquisición de la habilidad para mineralizar lignina sería ventajoso para el aprovechamiento de otras moléculas más fácilmente metabolizables, teniendo en cuenta las relaciones intermoleculares presentes en la estructura de las paredes celulares.

Dos grupos de hongos se distinguen entre los destructores de madera: los que causan la podredumbre parda que degradan celulosa y hemicelulosas dejando la lignina como residuo, y los que provocan la podredumbre blanca que degradan lignina. Entre estos últimos se encuentran *Stereum*, *Phanerochaete*, *Pleurotus*, *Ganoderma*, *Polyporus*, *Xylaria*³².

³¹ RITTMANN B. & McCARTY P. "Biotecnología del Medio Ambiente" Primera Edición, Editorial Mc Graw Hill, España 2001. Pp. 20, 699, 700.

³² <http://www.reviberoammicol.com/2003-20/016020.pdf>

2.8 COMPOSTAJE

Se puede definir al compostaje, como un proceso biológico aerobio, de descomposición de la materia orgánica rápidamente biodegradable, hasta su estabilización y conversión en productos transitorios, que provoca una intensa proliferación de microorganismos, y la formación de un producto, que puede ser beneficiosamente, aplicado al suelo.

En el compostaje se mezcla el material a biodegradar, con agentes esponjantes orgánicos como estiércol y se dispone en pilas, éstos agentes ayudan a incrementar la porosidad para facultar el flujo de aire mientras la energía desprendida durante la degradación orgánica, se traduce en una elevación de la temperatura de la pila. Se incorpora agua periódicamente y las pilas se voltean usando medios mecánicos a intervalos periódicos de tiempo.³³

Los agentes esponjantes, normalmente, están compuestos por estiércol, que sirven de sostén a una población microbiana superior a la que habita en el terreno y aporta nutrientes inorgánicos y materiales relativamente inertes como aserrín.

Existe una gran variedad de microorganismos aplicables al mencionado proceso, para lo cual se requiere una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, generándose una etapa termofílica. Los productos finales del compostaje incluyen dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada.

El objetivo principal que se persigue con el compostaje, es la reducción de los compuestos orgánicos complejos para obtener de ellos los compuestos más sencillos parcialmente inorgánicos, que sean asimilables de inmediato por las plantas o que gradualmente se vayan haciendo asimilables en cuanto penetre el suelo. El medio por el cual se realizan estos cambios es la actividad vital de los microorganismos en condiciones aerobias.

El compost no necesariamente se condiciona al uso específico de materiales vegetales, sino que también se pueden usar otros tipos de desechos, bien sea de tipo animal, vegetal o

³³ MONROY, Oscar, "Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos, AGT EDITORSA, México, 1990

desechos urbanos e incluso el mismo suelo. Por definición, el compost, es entonces, una técnica para el manejo de desechos orgánicos, basada en un proceso aerobio de fermentación que permite obtener finalmente un producto estable de uso agrícola³⁴

Existen dos formas de compostaje que son³⁵:

- **Compostaje aerobio:** En el que se descompone los sustratos orgánicos en presencia de oxígeno. Los principales productos de la biodegradación son dióxido de carbono, agua y calor.
- **Compostaje anaerobio:** Es la descomposición de sustratos orgánicos en la ausencia de oxígeno con una producción de energía mucho menor por masa de materia orgánica que en el compostaje aerobio. Los principales productos de la biodegradación son metano, dióxido de carbono y numerosos productos intermedios de bajo peso molecular como ácidos y alcoholes que pueden producir malos olores.

2.8.1 PROPIEDADES DEL COMPOST

Las propiedades, de un proceso de compostaje son³⁶:

- Mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad, permeabilidad, y aumenta la capacidad de retención de agua del suelo.
- Mejora las propiedades químicas. Aumenta el contenido de macronutrientes (NPK) y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, es fuente y almacén de nutrientes para cultivos.
- Mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.

³⁴ ----- (1999)

³⁵ BAQUERO Juan Pablo, "Biodegradación del raquis de la palma africana, y su utilización como biofertilizante, mediante un proceso de compostaje en húmedo" Quito, 2005

³⁶ ATLAS R. & BARTHA R. "Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental" Editorial Pearson Educación, S.A., Madrid, 2002.

- Mejora la fertilidad del suelo ya que contiene una población microbiana que esta liberando nutrientes en forma permanente hasta alcanzar un balance que permita un buen desarrollo vegetal.
- El nitrógeno del compost es menos susceptible a lixiviarse que aquel aplicado en fertilizantes solubles.
- Existe una reducción de masa y volumen por medio de la volatilización del carbono orgánico como dióxido de carbono.
- El producto resultado del compost es un buen acondicionador del suelo y suministra algunos nutrientes vegetales, pero no puede competir con los abonos sintéticos de la producción agrícola.

2.8.2 CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS A COMPOSTAR

Prácticamente todo el material orgánico sólido puede ser compostado, sin embargo algunas características físicas o químicas facilitarían o dificultarían un proceso normal de descomposición.

- Características físicas:

El material picado facilita el ataque microbiano, el objetivo de trocear es aumentar la superficie específica y por consecuencia la capacidad de retener aire y agua para facilitar el proceso de biodegradación.

Los vegetales, principalmente las plantas vasculares, son el origen mayoritario de los residuos orgánicos que llegan al suelo. Los vegetales están constituidos por agua 80-90%, por una gran diversidad de moléculas orgánicas y minerales que varían en sus porcentajes de acuerdo con la especie vegetal y con su edad. Sin embargo algunas de ellas son dominantes, tal es el caso de la celulosa 20-50%, hemicelulosa 10-30% y lignina del 10-30%³⁷.

El conjunto lignina, celulosa, hemicelulosa configura el material fibroso de los vegetales. Además de la fibra como grupo mayoritario de biomoléculas, le sigue en

³⁷ RITTMANN B & Mc CARTY P. “ Biotecnología del Medio Ambiente” Principios y aplicaciones Mc Graw Hill. España 2001 pp. 20, 157-163

importancia el conjunto de carbohidratos, azúcares, almidones, proteínas y aminoácidos que son de fácil descomposición y es la fracción orgánica que rápidamente desaparece por acción microbiana.

2.8.3 INDICES DE CALIDAD DEL COMPOSTAJE

El proceso de compostaje empieza con la colección de material orgánico que contiene una población considerable de hongos y bacterias que pueden desarrollar el proceso. De tal forma que las condiciones en las que estos trabajen serán de vital importancia para lograr una biodegradación eficiente, e incluyen los siguientes aspectos:

a) Temperatura:

La lectura de la temperatura hecha en la masa de compost puede indicar la cantidad de actividad bioquímica que tiene lugar durante el proceso. Una caída en la temperatura podría significar que el material necesita ser aireado, humedecido, o que la descomposición está en la última etapa.

Las reacciones aeróbicas de oxidación catalizadas por microorganismos producen calor. En circunstancias apropiadas, con una masa suficiente y una baja conductividad del calor del material sometido a compostaje, el autocalentamiento puede elevar la temperatura del compost dentro de una pila, de 50-70°C.³⁸

La temperatura más satisfactoria es usualmente 60°C. Sin embargo, el factor más importante para mantener temperaturas altas durante la descomposición es proporcionar condiciones aerobias a la pila.

Las temperaturas muy altas son inhibitorias de la biodegradación, en este caso la aireación o remoción del material, puede ayudar a impedir el

³⁸ ATLAS R. & BARTHA R. (2002)

autocalentamiento excesivo. El rociado periódico de agua, puede ayudar también a reducir la temperatura.

Dado que la pérdida de calor es proporcional a la superficie y la generación de calor al volumen, en las pilas grandes se tendrá un aumento continuo de la temperatura y en las pilas pequeñas se presenta un estancamiento aproximadamente a los 40 – 45 °C.³⁹

b) Humedad

Para alcanzar el grado más alto de descomposición se debe mantener el contenido de agua en el compost en el rango de 40 a 60 % en base húmeda y debe proporcionarse una buena aireación. Debido a que se adiciona agua durante el proceso, el compost se compacta reduciendo la cantidad de aire presente. Entonces se pueden crear condiciones anaerobias con la producción de olores desagradables. Por otro lado, si el contenido de humedad cae por debajo de 40 %, se reduce la velocidad de estabilización y se retarda el proceso de descomposición por inhibirse la actividad biológica. En consecuencia, puede bajar en forma brusca la temperatura de la masa, lo cual puede ser interpretado erróneamente como el fin del proceso, produciéndose realmente compuestos físicamente estabilizados pero biológicamente inestables.⁴⁰

c) Aireación:

Esto tiene dos finalidades, suministrar oxígeno y extraer calor. Diversos estudios efectuados indican que la cantidad de oxígeno consumida durante el composteo depende de las temperaturas dentro de la pila, del tamaño de las partículas y del tipo de material con el que se hizo la pila.

Normalmente, la concentración de oxígeno en el compost es cinco veces menor que en el aire ambiente, incluso cuando las pilas se voltean manual o mecánicamente. Algunas pilas de compost se remueven periódicamente con el fin de mantener las condiciones aeróbicas, produciendo así la subida

³⁹ HAUG (1998)

⁴⁰ <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/curso/composti/compos03.html>

secundaria de la temperatura, ocasionada por el reaprovisionamiento del suministro de oxígeno que se había agotado.

También ayuda a hacer el compost más uniforme, ya que de lo contrario, los procesos termófilicos quedarían restringidos al centro de la pila del compost.⁴¹

d) Relación carbono/nitrógeno (C/N)

Este es probablemente el aspecto más importante del compostaje pues define la velocidad de reacción del proceso. La mayoría de microorganismos usan 30 partes en peso de carbono por cada parte de nitrógeno por lo que una C/N de 30 es la más conveniente para una biodegradación eficiente. Aunque se informa de composteos eficientes con materiales que poseen valores de C/N que fluctúan entre 26 y 35.

A medida que el proceso prosigue, los organismos responsables usan el carbono como fuente de energía y el nitrógeno para la formación de células. La relación C/N llega con el tiempo a ser más pequeña debido a que el nitrógeno permanece en el sistema mientras que el carbono es liberado como dióxido de carbono.

Si el compost fresco o insuficientemente descompuesto, con alto contenido de carbono y bajo de nitrógeno, se aplica a la tierra, la actividad microbiana persistente podría, en teoría, quitar el nitrógeno de la tierra si la relación es superior a 20:1. Por otro lado, una proporción excesiva de nitrógeno, causa la volatilización del amonio, produce malos olores y baja el valor del fertilizante del compost resultante⁴². En la práctica, sin embargo, se tolera una relación más alta si el carbono no está fácilmente disponible para los microorganismos.

e) Poblaciones microbianas

Los microorganismos juegan un papel fundamental en el proceso de compostaje, ya que son los encargados de transformar los compuestos orgánicos complejos, a compuestos simples y asimilables por las plantas. Son los encargados de digerir el carbono de la materia orgánica, y excretar un

⁴¹ FERRARI DANIEL, “ Metodología de experimentación en procesos microbiológicos” 2003

⁴² FERRARI DANIEL (2003)

producto terminado que contiene nutrientes en forma estable. Generalmente en el compost existen gran cantidad de microorganismos representados por bacterias, hongos y actinomicetos, mesófilos y termófilos. El proceso lo inician microorganismos heterótrofos mesófilos. Conforme sube la temperatura, son sustituidos por formas termófilas.

Las bacterias termófilas más importantes que intervienen en el proceso son: *Bacillus stearothermophilus*, *Clostridium thermocellum*, *Thermomospora*, *Termoactinomyces* y *Clostridium thermocellum*. Los hongos termófilos más activos son *Geotrichum candidum*, *Aspergillus fumigatus*, *Mucor pusillus*, *Chaetomium thermophile*, y *Thermoascus auranticus*.⁴³

2.8.4 ETAPAS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

El proceso de compostaje puede dividirse en cuatro etapas, en las que se conjugan los cambios de temperatura con el tipo de microorganismos presentes. La gráfica de las etapas del compostaje se aprecia en la figura 4, y se detallan a continuación⁴⁴ :

a) *Mesofílica*

La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente, ya que se alimentan de las proteínas y azúcares disponibles en las camas. Como consecuencia de la actividad metabólica, la temperatura se eleva en un rango de 25 a 45 °C y se producen ácidos orgánicos que disminuyen el pH a valores alrededor de 5.0 a 5.5. En esta primera etapa, predominan las bacterias y algunas poblaciones de hongos, disminuyen, generando así calor y CO₂.

b) *Termofílica*

Cuando se alcanza una temperatura de 40 °C, los microorganismos termófilos, actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino, ya que existe un consumo de ácidos orgánicos por parte de los microorganismos. Comienzan a degradarse los productos del carbono

⁴³ ATLAS R. & BARTHA R. (2002)

⁴⁴ <http://www.fundases.com/p/pub-compostaje01.html>

resistentes, como la celulosa y la hemicelulosa, se destruyen los microorganismos patógenos, disminuye la actividad respiratoria, y predominan los hongos termófilos y actomicetos. A los 60 °C estos hongos termófilos desaparecen y las bacterias que forman esporas preponderan. Es esta etapa, la aireación del medio hará que se reinicie el proceso hasta que se acaben los nutrientes.⁴⁵

c) *De enfriamiento*

Cuando la temperatura es menor de 60 °C, reaparecen los hongos termófilos que reinvasen el medio y descomponen la celulosa. Al bajar de 40 °C los mesófilos también reinician su actividad y transforman otra parte de la celulosa, lignina y polímeros complejos. El pH del medio desciende ligeramente, ocurre una reactivación de los hongos y desciende la actividad bacteriana, al no existir suficiente disponibilidad de nutrientes.

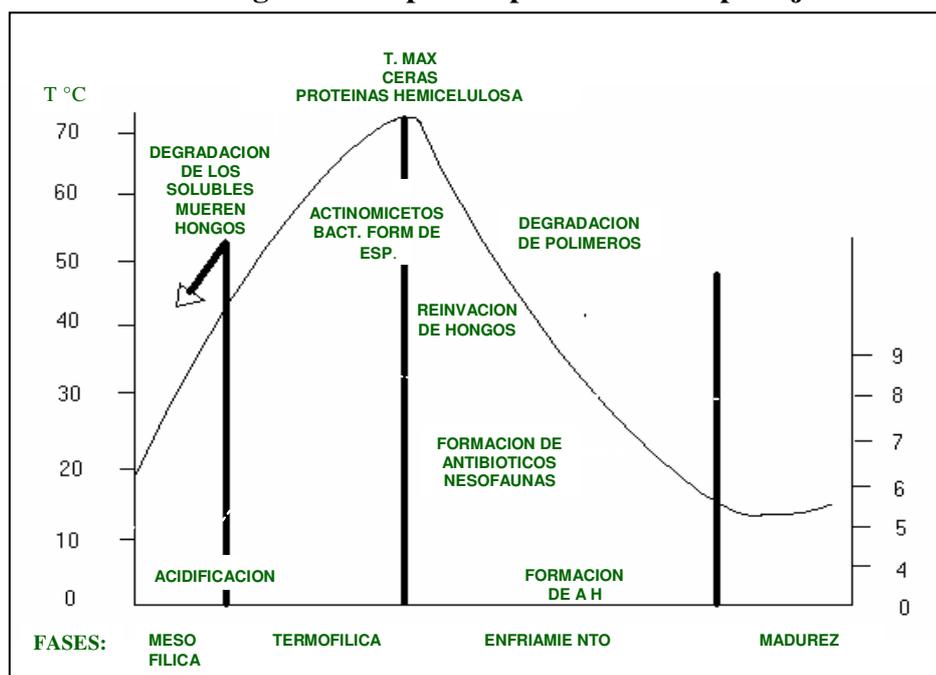
d) *De maduración*

En esta etapa la temperatura de la pila disminuye continuamente hasta asemejarse a la del ambiente, se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus. Hay una disminución de las poblaciones microbianas y el pH puede oscilar entre 7 y 8.⁴⁶

⁴⁵ http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema8.pdf

⁴⁶ http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema8.pdf

Figura 4. Etapas del proceso de compostaje



Fuente: http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema8.pdf

2.8.5 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL COMPOST

La evaluación de la calidad del compost se manifiesta a través de mediciones de parámetros específicos en momentos bien establecidos del proceso. A continuación se menciona cada uno de los parámetros y se desarrolla en forma sintética los aspectos principales a considerar⁴⁷:

a) Relación Carbono-Nitrógeno

Durante el proceso 2/3 del carbono son utilizados como CO₂, y el resto es combinado con el nitrógeno para el desarrollo celular. Al finalizar el proceso, esta relación debe encontrarse con valores que varíen de 12 a 20, dependiendo del material utilizado para el proceso.⁴⁸

⁴⁷ www.cnpl.cl/documentos/doc%5Cmanuales%20generales%5CManual%20de%20Compostaje.pdf

⁴⁸ www.obras.unam.mx/cecolog/composta_intr_c.html

b) *pH*

Los valores normales al final del proceso deben fluctuar entre 7 a 8, ya que gracias al efecto tampón de la materia orgánica, al final del proceso los valores de pH, se sitúan cercanos a la neutralidad o ligeramente básicos.

c) *Conductividad eléctrica:*

Los valores de conductividad eléctrica, que nos indican la salinidad del compost, no deben ser superiores a 2 mS/cm. para no provocar toxicidad a las plantas, ni la salinización del suelo donde sea aplicado.⁴⁹

d) *Contenido de Metales Pesados*

La Organización Mundial de la Salud ha establecido los rangos tolerables de metales pesados que puede contener el compost maduro o final⁵⁰. Estos rangos son expuestos en la tabla 2:

Tabla 2. Límites máximos de metales pesados en Compst final (OMS 1985)

Metales Pesados (en mg/kg de materia seca)	Rangos Normales
Boro	60 – 360
Cadmio	15 – 40
Cobre	90 – 260
Hierro	8.000 – 15.000
Mercurio	1 – 5
Manganeso	300 – 1.300
Molibdeno	10
Plomo	200 – 400
Zinc	800 – 1.200

Fuente: www.cnpl.cl/documentos/doc%5Cmanuales%20generales%5CManual%20de%20Compostaje.pdf

⁴⁹ www.compostadores.com/admin/articulos/editor/imgarticulos/compost_temperatura_humedad.pdf

⁵⁰ www.cnpl.cl/documentos/doc%5Cmanuales%20generales%5CManual%20de%20Compostaje.pdf

e) Presencia de Organismos patógenos

Se debe realizar un análisis al producto final para comprobar que puede ser aplicado sin riesgo en procesos agrícolas de mejoramiento o fertilización de suelo

f) Contenido de macro y micronutrientes

Verificar el contenido de macronutrientes: nitrógeno, potasio y fósforo. Así como también el contenido de micronutrientes como calcio, magnesio y azufre al final del proceso, sobretodo cuando el destino final del producto es para uso agrícola. En la tabla 3, se presenta la interpretación de los niveles de nutrientes en el compost.

Tabla3. Rango de niveles de contenido de nutrientes

Calcio	Magnesio	Azufre	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	
Cmol/K g	Cmol/Kg	p.p.m.	%	p.p.m.	Cmol/Kg.	
<1	<0.33	<12	0-0.15	0-10	<0.2	Bajo
1.0-3.0	0.34-0.66	12-24	0.16-0.3	11-20	0.2-0.38	Medio
>3.0	>0.66	>24	>0.31	>21	>0.4	Alto

Fuente: Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria. (SESA) 2008

g) Contenido de materia orgánica:

Dependiendo de la efectividad del proceso realizado, se obtendrán distintos valores de contenido de materia orgánica, sin embargo el valor de referencia establece que debe ser un valor mayor al 48%, para que pueda ser utilizado como acondicionador de las características del suelo.

h) Tamaño de partícula:

Para toda clase de compost, el tamaño final de partícula debe colocarse en valores que van desde 6.3 a 12.5 mm. dependiendo del material que haya sido utilizado en el proceso.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir con los objetivos planteados en la presente investigación se ha seguido un procedimiento específico para cada uno de los pasos tanto de la fase de laboratorio como de la fase de campo, para así poder reproducir las condiciones óptimas del ensayo y lograr resultados confiables y objetivos. Para lograr un procedimiento ordenado y específico se siguió el cronograma que se puede observar en el anexo 3.

3.1 MÉTODOS GENERALES DE ANÁLISIS

3.1.1 FACTORES EN ESTUDIO

- Aislamiento y proliferación de microorganismos fúngicos degradadores de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, con el fin de aplicarlos en la técnica de biotransformación.

- Diseño y control de las variables del bioproceso.

- Determinación de la calidad del producto obtenido de la biodegradación de las hojas de eucalipto.

3.1.2 VARIABLES EN ESTUDIO

Compuestos orgánicos que se encuentran en las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, en especial celulosa, lignina y aceites esenciales de eucalipto. Durante la fase de campo las variables en estudio serán las variables ambientales, pH, conductividad eléctrica, temperatura y humedad. Una vez finalizado el proceso las variables en estudio del producto obtenido serán: macro y micro nutrientes así como el conteo microbiano.

3.1.3 UNIDAD EXPERIMENTAL

Esta constituida por doce camas con un área de un metro cuadrado cada una, en las cuales se dispuso las hojas picadas de la especie *Eucalyptus globulus*.

3.1.4 TRATAMIENTOS

Tres diferentes dosis del cocktail de hongos, en las nueve unidades experimentales. Cada dosis tuvo un número total de tres repeticiones y una cama blanco. (Ver cuadro1)

Cuadro 1. Tratamientos y dosis de las unidades experimentales

Tratamiento	Número de repeticiones	Dosis (Volumen de cocktail por litro de agua inoculada)
1	3	10 ml.
2	3	20 ml.
3	3	30 ml.
Blanco	3	-

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

3.2 METODOS ESPECÍFICOS

3.2.1 FASE DE CAMPO

3.2.1.1 INSPECCIÓN DE DIAGNÓSTICO DEL ÁREA EN ESTUDIO.

Dada la gran extensión del Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito, se vió necesaria la delimitación e inspección de aproximadamente diez hectáreas, que fueron el lugar de trabajo.

3.2.1.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

Los puntos de muestreo, fueron elegidos al azar, y son representativos del área elegida para el estudio. Fueron identificados, mediante una señal, y con la toma de puntos de su ubicación, mediante un GPS.

3.2.1.3 AISLAMIENTO DE MICROORGANISMOS

El compostaje, es un proceso que depende directamente de la acción de microorganismos. Dada la composición de las hojas se inocularon microorganismos fúngicos celulíticos, con el fin de acelerar el proceso natural de biotransformación.

La identificación de estos organismos, debido a sus altos costos, y a su grado de complejidad, quedará pendiente para investigaciones futuras, una vez comprobada su actividad en el proceso.

3.2.1.4 SELECCIÓN DE MATERIAL CON MICROORGANISMOS FÚNGICOS CELULÍTICOS.

Las fuentes de microorganismos fúngicos muestreadas, en el área previamente seleccionada, fueron las siguientes:

- Suelo con presencia de hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, en proceso natural de degradación. El suelo en general posee una gran gama de microorganismo que pueden ser utilizados en la descomposición de celulosa y la lignina. Los hongos se encuentran principalmente en los 10 primeros centímetros del mismo⁵¹.

⁵¹ ATLAS R. & BARTHA R. (2002)

- Rizósfera de los árboles de la especie *Eucalyptus globulus*. La zona de la rizósfera es muy rica en microorganismos por la cantidad de materia orgánica y exudados de las raíces que hacen que sea un magnífico medio de cultivo por la cantidad de nutrientes que aporta.

- Hojas de la especie *Eucalyptus globulus* que se encuentren en proceso natural de biodegradación.

3.2.1.5 MUESTREO MICROBIOLÓGICO

Las muestras tomadas, tanto de suelo como de hojas en proceso natural de biodegradación, fueron recolectadas en frascos estériles y en fundas ziplock, debidamente identificadas, para ser transportadas al laboratorio de microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Central del Ecuador, ubicado en la ciudad de Quito.

Cada una de las muestras fue identificada con el código respectivo y con la información establecida en el “PROTOCOLO DE MUESTREO 1” Anexo 1, la cual se detalla a continuación:

- a) Código de la muestra
- b) Ubicación
- c) Fecha
- d) Hora
- e) Persona encargada del muestreo
- f) Observaciones

Se escogieron al azar quince puntos de muestro en el área previamente limitada del estudio. Los lugares en donde se tomaron las muestras tanto de hojas como de suelo, fueron debidamente georreferenciados.

3.2.1.6 TRANSPORTE

Inmediatamente después de ser tomadas las muestras se cerraron herméticamente y se guardaron en un cooler donde los microorganismos se conservan en un ambiente controlado a aproximadamente 20° C hasta llegar al laboratorio, el mismo día de la toma de muestras.

3.2.1.7 ELECCIÓN DEL LUGAR PARA ESTABLECER EL DISEÑO DE LAS COMPOSTERAS.

De acuerdo a las especificaciones del Consorcio Ciudad Ecogestión, se construyeron las composteras en el vivero Guasipungo, ubicado en la ciudad de Quito, al sur del Parque Metropolitano Guanguiltagua, a una altura de 2941 m.s.n.m.

Es una zona de fácil acceso, con presencia continua de trabajadores y guarda bosques, que ayudaran en la aireación de las camas. Además la zona, dispone accesibilidad al recurso agua.

3.2.2 DISEÑO DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

3.2.2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS COMPOSTERAS.

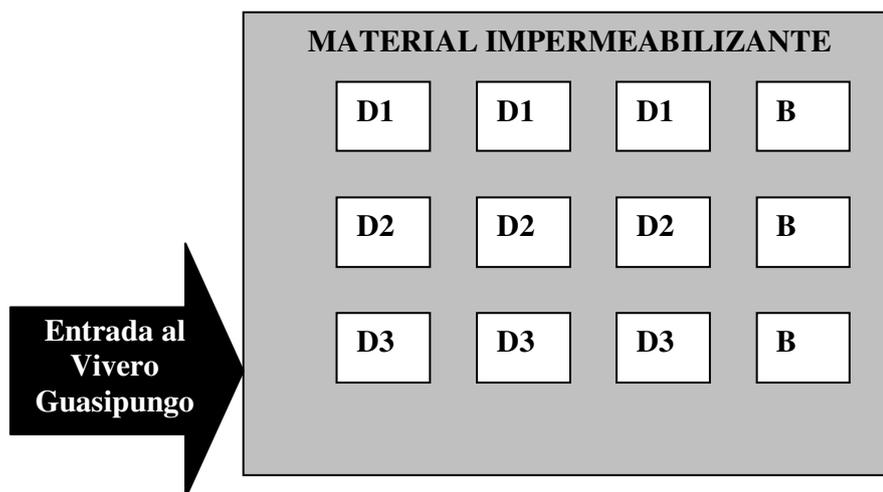
Se construyó doce biorreactores, o camas de compostaje, con dimensiones de un metro cuadrado, con diferentes dosis del cocktail de hongos biodegradadores de las hojas de *Eucalyptus globulus*.

Las hojas recolectadas fueron previamente picadas, con el fin de facilitar el proceso, y se añadió estiércol de animales de la zona, para aumentar tanto la cantidad de nitrógeno presente, como la porosidad y aireación. Las dosis que se inocularon fueron las siguientes (Ver diagrama 1):

- a) **Dosis 1:** 10 ml de cocktail de hongos, por litro de agua inoculado.
- b) **Dosis 2:** 20 ml de cocktail de hongos, por litro de agua inoculado.
- c) **Dosis 3:** 30 ml de cocktail de hongos, por litro de agua inoculada.

- d) **Blanco:** Cada dosis, tendrá una cama blanco, que constituirá el dato de comparación, pues se desarrollará de forma natural sin inocular.

DIAGRAMA 1: Esquema de ubicación e identificación de las camas



Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

El diseño de las composteras tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- La altura de la cama no debe sobrepasar los 50 cm
- La distancia entre cada una de las camas será de 30 cm, aproximadamente.
- Las camas permanecieron constantemente cubiertas con plástico negro, para evitar el exceso de humedad en las mismas.
- Se construyó las camas, sobre material impermeabilizante (plástico), para evitar problemas con los lixiviados generados en el proceso.
- Se colocó aproximadamente $\frac{1}{4}$ de estiércol de animales de la zona en cada una de las camas, con el fin de aumentar la cantidad de nitrógeno en las mismas.

3.2.2.2 COMPOSTAJE EN CAMPO.

Una vez aisladas las especies de hongos celulíticos en laboratorio, se procedió a realizar la técnica de bioaumentación en las camas, con el fin de acelerar el proceso de biodegradación, y comparar los resultados en función a las dosis inoculadas.

3.2.2.3 CONTROL DE VARIABLES AMBIENTALES

Se controló durante el proceso condiciones macro ambientales como:

- Temperatura: La temperatura ambiente y del compost fueron medidas tres veces por semana, con un termómetro de mercurio,
- pH: Se lo determinó mediante el uso de un multiparámetros en campo, tres veces por semana. En el laboratorio se lo determinó mediante cintas medidoras de pH.
- Conductividad: Se lo determinó mediante el uso de un multiparámetros, tres veces por semana.

3.2.3 FASE DE LABORATORIO

3.2.3.1 PROLIFERACIÓN SELECTIVA

Una vez que las muestras llegaron al laboratorio, se procedió a inocular tres tipos de variables las cuales son: hojas en proceso natural de degradación, suelo, y una mezcla 50/50 de suelo y hojas. El medio de proliferación selectiva, fue realizado con agar nutriente más celulosa, para permitir únicamente el crecimiento de los microorganismos que tengan un metabolismo celulítico.

Para lograr una proliferación selectiva, apropiada, se siguió el siguiente procedimiento:

- a) Cortar las hojas de eucalipto que fueron tomadas en el PMG
- b) Colocar 10g. de muestra (suelo, hojas y hojas más suelo), en 90 ml de agar nutriente con 5g/l de celulosa microcristalina (Merck).

- c) Incubar a 37°C, 180 r.p.m., por 24 horas.
- d) Repetir el procedimiento para cada una de las muestras tomadas.
- e) Preparar medio minimal, con las concentraciones necesarias para un litro de medio, detalladas en la tabla 4.
- f) Autoclavar el medio minimal, y los instrumentos de laboratorio que serán necesarios para realizar la siembra.
- g) Colocar 20ml de medio minimal en cada caja petri, y dejar solidificar.
- h) Previa a la siembra, se prepara la técnica de diluciones, la cual consiste en tomar 0.1 ml. del agar nutriente inoculado con las muestras tomadas en el PMG en la fase de proliferación, obteniendo así una dilución de 10^{-1} ; la dilución de 0.1 ml. del agar en 9.9 ml. de agua peptonada, obteniendo así una dilución de 10^{-3} ; y por último, de la dilución de 10^{-3} , se toma 0.1 ml. para colocarlos en 9.9ml de agua peptonada para obtener una dilución de 10^{-5}
- i) Inocular las cajas petri, tres para cada una de las muestras a analizar (hojas, suelo y hojas más suelo), con las tres diluciones antes obtenidas, siguiendo la técnica de siembra por extensión, con el asa de Digrasky.
- j) Una vez sembradas las cajas, se guardaron a temperatura ambiente por 5 días. Ya que es el tiempo mínimo para el crecimiento de hongos.
- k) Luego de los cinco días de inoculación, se evaluó el crecimiento de los hongos, en base a la cobertura del medio de cultivo por la hifa del mismo.

Tabla 4. Contenido del medio minimal

Compuesto	Cantidad (gramos)
FeSO ₄ .7H ₂ O	0.05
KH ₂ PO ₄	1.0
MnCl ₂ .4H ₂ O	0.002
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.2
CaCl ₂	0.02
Agar	9.4
Celulosa microcristalina (Merck)	2.5
Lignina	2.5
Extracto de levadura	5.0
Agua destilada	1 l

Fuente: GRANADOS R. & VILLAVERDE M. (1998)

3.2.3.2 AISLAMIENTO DE HONGOS

Para realizar el aislamiento de los microorganismos fúngicos capaces de degradar las hojas de *Eucalyptus globulus*, una vez que han crecido en los medios de cultivo minimales, con celulosa y lignina, se realizó una inoculación de los hongos que presentan crecimiento, en tubos de ensayo con 10ml. de medio minimal, más la fuente de carbono indicada, realizando un aislamiento por estrías en tubos inclinados.

Una vez transcurridas las 24 horas, los hongos que crecieron en los tubos de ensayo, se realizó una resiembra en cajas petri, con 20ml de medio minimal y gentamicina, como se indica en el siguiente procedimiento:

- SEGUNDA SIEMBRA

- a) Luego de los cinco días, de la primera siembra, se identificaron y marcaron las colonias que se veían diferentes
- b) Se preparó tantos tubos con medio minimal, como colonias distintas se identificaron.
- c) Se tomó cuidadosamente, con una asa bacteriológica, cada una de las colonias diferentes que se identificaron y se inocularon en tubos con medio minimal inclinado, de la siguiente manera:
 - Esterilizar el asa de siembra.
 - Depositar el inóculo en uno de los extremos superiores del tubo y realizar un movimiento en zig-zag de un extremo al otro.
 - No tomar un nuevo inóculo hasta concluir la siembra.
- d) Se incubó por 24 horas a 30° C.
- e) Se observó el crecimiento de hongos y de posible contaminación.

- TERCERA SIEMBRA:

- a) De los tubos obtenidos de la segunda siembra realizada, se toman las colonias a ser inoculadas en cajas petri con medio minimal.

b) Preparar medio minimal, con las especificaciones dadas en la tabla 1. Las variables realizadas para esta tercera siembra fueron las dosis de lignina. Es así como se prepararon tres tipos de dosis:

- Sólo lignina como fuente de carbono, añadiendo 5 gramos de la misma al medio.
- Celulosa y lignina en relación 50/50, añadiendo 2.5 gramos de celulosa y 2.5 gramos de lignina al medio.
- 60% lignina y 40% celulosa, añadiendo 3 gramos de lignina y 2 gramos de celulosa.

c) Autoclavar el medio minimal, y los instrumentos de laboratorio necesarios para realizar la siembra, a 120°C, y 15 psi

d) Tomar cuidadosamente una muestra de las colonias presentes en los tubos, y sembrarlas en las cajas petri.

e) Dejar las cajas a temperatura ambiente durante 5 días.

f) Observar las colonias de mayor crecimiento.

3.2.3.3 PROLIFERACIÓN Y SELECCIÓN

La etapa de selección y purificación de los hongos obtenidos en la etapa de aislamiento, se realizó en el laboratorio de microbiología de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

Una vez obtenidos los hongos que degradan celulosa y lignina a condiciones ambientales, se procedió a su proliferación en medios comerciales, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

a) Preparar medios de cultivo comerciales. Para el caso de hongos se usó agar sabouro.

b) Autoclavar los medios a 120°C, y 15 psi.

c) Añadir en los medios 1.8 ml de ácido tartárico, por cada 100 ml, con el fin de bajar el pH, y evitar el crecimiento de bacterias.

- d) Colocar los medios en cajas petri, y dejar solidificar.
- e) Inocular los hongos previamente seleccionados.
- f) Incubar las cajas a 30°C, durante cinco días.
- g) Observar el crecimiento de hongos y la posible presencia de contaminación.

Después de ser obtenido el apropiado crecimiento de los hongos en los medios de cultivos preparados, se realizó una prueba de antagonismo, inoculando dos especies juntas con el fin de evaluar su crecimiento y seleccionar los más aptos para ser inoculados en las composteras. Para realizar la mencionada prueba, se siguió el siguiente procedimiento:

- a) Preparación de agar saboreaud.
- b) Autoclavar el medio a 120°C y 15 psi.
- c) Añadir 1.8 ml de ácido tartárico, por cada 100 ml de medio preparado.
- d) Colocar en cajas petri y dejar solidificar.
- e) Inocular las cajas. Se inocularan dos especies de hongos por cada caja, hasta obtener todas las combinaciones de especies posibles.
- f) Incubar a 30°C por cinco días.
- g) Observar crecimiento y posible contaminación.

Paralelamente, se realizó la reproducción de los hongos obtenidos en la fase de purificación, con el fin de obtener la cantidad necesaria para aplicar en la fase de campo. Por cada hongo obtenido, se preparó de cinco a diez cajas petri para ser inoculadas, de la siguiente manera:

- a) Preparación de agar patata dextrosa.
- b) Autoclavar el medio a 120°C y 15 psi.
- c) Añadir 1.8 ml de ácido tartárico, por cada 100 ml de medio preparado.
- d) Colocar en cajas petri y dejar solidificar.
- e) Inocular las cajas. Se aplicará una técnica que consiste, en aplicar tres pedazos del hongo obtenido, en el medio preparado.
- f) Incubar a 30°C por cinco días.
- g) Observar crecimiento y posible contaminación.

3.2.3.4 PREPARACION DE COKTAIL DE HONGOS

Se preparó caldo nutritivo, en un erlenmeyer de 1000 ml, agregando pedazos de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, el cual se autoclavará. Luego inocular los cultivos puros en el caldo e incubar durante cinco días, para ser utilizado en el ensayo de biodegradación. Debe manejarse los cultivos puros con mucho cuidado para evitar su contaminación.

Nota: Este procedimiento se repetirá para cada una de las inoculaciones programadas.

3.2.3.5 CONSERVACION DE CEPAS FUNGICAS

Para la conservación de las especies fúngicas, obtenidas en las fases de aislamiento y purificación, se aplicó la técnica de crioviales. La cual consiste en:

- a) Colocar 1 ml. de aceite de cocina, con el fin de conservar las estructuras de los hongos, en tubos eppendorf.
- b) Cerrar los tubos cuidadosamente y autoclavar a 120°C y 15 psi, junto con los instrumentos de laboratorio necesarios para la ejecución de la técnica.
- c) Con la ayuda de una pipeta pasteur, sacar un pedazo del hongo y colocarlo dentro del tubo eppendorf.
- d) Repetir el procedimiento, diez veces por cada una de las cepas obtenidas.
- e) Identificar los tubos eppendorf, y colocarlos en un congelador.

3.2.3.6 CUANTIFICACIÓN DE CELULOSA Y LIGNINA

Para la cuantificación de celulosa y lignina, se molieron, 8 gramos de hojas de la especie *Eucalyptus globulus*. Se extrajo los compuestos hidrosolubles mediante lavados con agua destilada a 90°C. Se solubilizó la celulosa por medio de una hidrólisis con ácido sulfúrico al 72%, proceso en el cual la lignina permaneció como un resto insoluble.

Se filtró el contenido. La celulosa se calculó por diferencia del peso inicial de la fracción que se hidroliza con el ácido, y la fracción insoluble, se asumió como lignina. Las cantidades de celulosa solubilizadas en ácido y la lignina de las hojas sin inocular, se tomaron como el 100% del contenido, para cada polímero.⁵²

3.2.4 CONTROL Y SEGUIMIENTO DE LAS VARIABLES DEL ENSAYO

Para controlar el proceso, se estableció una serie de procesos que ayudaron a mantener las condiciones adecuadas para la optimización del proceso, los cuales son:

3.2.4.1 PLAN DE INOCULACIÓN

La inoculación de los hongos aislados en el laboratorio, se la realizó por medio de la preparación de un cocktail, y se lo inoculó directo en las 9 camas, dependiendo de las dosis establecidas anteriormente. Las inoculaciones se realizaron cada dos semanas aproximadamente, (Ver Anexo 4) de acuerdo a los datos de consumo de sustrato obtenidos en el laboratorio, y bibliografía consultada.

3.2.4.2 PLAN DE VOLTEO Y AIREACIÓN

Al ser el ensayo un proceso aerobio, es indispensable la aireación y volteo de las camas, es por esta razón que para mantener las condiciones de aireación óptimas, acelerar el proceso y controlar la gran humedad de la zona, se decidió que los volteos se los realice tres veces por semana, tal y como se establece en el “PLAN DE VOLTEO Y AIREACIÓN” (Ver Anexo 5), con la ayuda del personal que trabaja en el vivero, los mismos que removieron el material de tal manera que las capas superiores se ubiquen en el fondo y viceversa.

⁵² NUÑEZ, Leyla “Estudio del biodeterioro en Madera de *Eucalyptus Globulus*” Chile 2004

3.2.4.3 CONTROL DE VARIABLES AMBIENTALES

Para controlar las condiciones óptimas del proceso de biotransformación de las hojas de eucalipto, fue necesario monitorear la temperatura, pH y conductividad de las camas, mediante el uso de un termómetro de mercurio así como de equipo multiparámetros.

Los monitoreos se realizaron al azar dos veces por semana, durante las seis semanas que tuvo duración el ensayo de acuerdo al cronograma establecido en el cuadro 2:

Cuadro 2: Cronograma de control de variables ambientales

Semana	Fecha de monitoreo	Variables ambientales monitoreadas		
		pH	Cond. mS/cm	Temp. °C
Primera	11/06/2008	si	si	si
	15/06/2008	si	si	si
Segunda	19/06/2008	si	si	si
	22/06/2008	si	si	si
Tercera	26/06/2008	si	si	si
	Se realizó sólo un monitoreo semanal por la excesiva lluvia			
Cuarta	02/07/2008	si	si	si
	06/07/2008	si	si	si
Quinta	09/07/2008	si	si	si
	13/07/2008	si	si	si
Sexta	16/07/2008	si	si	si
	20/07/2008	si	si	si

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Las mediciones de temperatura, pH y conductividad de las camas se midió aleatoriamente, en función del día, la hora y las condiciones climáticas.

3.4.2.4 CARACTERIZACIÓN DEL ABONO OBTENIDO

Una vez concluido el proceso de compostaje, se tomaron muestras compuestas de cada una de las tres dosis inoculadas, más las camas blancas, siguiendo “PROTOCOLO

DE MUESTREO 2” (Ver Anexo 2), y se realizaron dos tipos de análisis. En el cuadro 3, se pueden observar los parámetros que fueron analizados en el abono obtenido.

El primer análisis fue realizado en el Laboratorio de Suelos y Agua, del Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, en el cual se determinó la cantidad de macro y micronutrientes contenidos en el producto obtenido, con el fin de determinar la calidad del mismo.

El segundo fue un análisis microbiológico, que se realizó para determinar la cantidad de microorganismos fúngicos y coliformes totales presentes en los productos finales obtenidos. El conteo de coliformes totales se realizó por la presencia de estiércol en las doce diferentes camas.

Cuadro 3. Parámetros de análisis del abono obtenido

Parámetros a ser analizados del abono obtenido			
Macroelementos	Microelementos	Oligoelementos	Análisis Microbiológico
Porcentaje de Materia Orgánica	Calcio	Hierro	Mohos
Nitrógeno Total	Magnesio	Manganeso	Levaduras
Fósforo	Azufre	Cobre	Coliformes Totales
Potasio		Zinc	
		Boro	

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

3.4.2.5 OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE EFICIENCIA DEL ABONO

Una vez realizados los análisis químicos de los abonos obtenidos, se realizó una matriz, con el fin de asignar un porcentaje a cada parámetro analizado en cada una de las

dosis, para lograr calcular al final un índice de eficiencia del abono que nos indique la dosis con mejores resultados.

La valoración de cada parámetro se realizó en base al valor más alto alcanzado por las tres diferentes dosis, más la dosis blanco o testigo, es decir se obtuvo un porcentaje de rendimiento para cada uno de los parámetros, y de manera global.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DEL AISLAMIENTO DE MICROORGANISMOS FÚNGICOS CELULÍTICOS

4.1.1 RESULTADOS DEL MUESTREO DE FUENTES DE MATERIAL FÚNGICO

Luego de realizar el muestreo microbiológico siguiendo los procedimientos ya establecidos, se obtuvieron un total de trece muestras de suelo, y trece muestras de hojas en proceso natural de degradación, las mismas que fueron recogidas en el sector del vivero “Guasipungo” del Parque Metropolitano Guanguiltagua. Los resultados del muestreo microbiológico, se observan en el cuadro 4, y la ubicación geográfica de los diferentes puntos de muestreo en el cuadro 5.

Cuadro 4. Resultados muestreo microbiológico Parque Metropolitano 2008

Código de la muestra	Descripción	Ubicación	Fecha	Hora	Muestrea da por	Observaciones
PMQ -1	Suelo	Vivero Guasipungo	06/02/08	10:00 AM.	C. Caicedo	La muestra fue tomada en una zona húmeda con presencia de material en descomposición
PMQ -2	Suelo y hojas	Cuesta sendero	06/02/08	10:12 AM.	C. Caicedo	Se tomaron las muestras de un punto con abundante presencia de agua
PMQ -3	Suelo y hojas	Sendero	06/02/08	10:20 AM.	C. Caicedo	Se tomaron las muestras en un punto con presencia de estiércol
PMQ -4	Suelo y hojas	Casa comunal	06/02/08	10:25 AM.	C. Caicedo	Las muestras se tomaron de la superficie de la rizósfera del árbol, donde se evidenció descomposición
PMQ -5	Suelo y hojas	Puente	06/02/08	10:33 AM.	C. Caicedo	Las muestras se tomaron de la superficie de la rizósfera del árbol
PMQ -6	Suelo	Sendero cercano a una casa azul	06/02/08	10:40 AM.	C. Caicedo	La muestra de suelo presenta una alta humedad
PMQ -7	Suelo y hojas	Bosque	06/02/08	10:50 A.M.	C. Caicedo	Por estar en medio del bosque en el punto de muestreo hay presencia de abundante material en descomposición
PMQ -8	Hojas	Bosque	06/02/08	10:55 A.M.	C. Caicedo	Se tomaron las hojas de un charco de agua.
PMQ -9	Suelo y hojas	Sendero	06/02/08	11:10 A.M.	C. Caicedo	Abundante cantidad de semillas de eucalipto en el punto de muestreo.
PMQ -10	Suelos y hojas	Final del sendero	06/02/08	11:25 A.M.	C. Caicedo	
PMQ -11	Hojas	Zona tanque de agua	06/02/08	11:30 A.M.	C. Caicedo	Las hojas colectadas presentan un leve crecimiento de colonias de color blanco
PMQ -12	Hojas y suelo	Zona área recreativa	06/02/08	11:36 AM.	C. Caicedo	
PMQ -13	Hojas y suelo	Zona cercana a la Capilla del Hombre	06/02/08	11:42 A.M.	C. Caicedo	Las muestras de tomaron cerca de la rizósfera del árbol
PMQ -14	Hojas y suelo	Zona cercana a la Capilla del Hombre	06/02/08	12:05 A.M.	C. Caicedo	
PMQ-15	Hojas y suelo	Zona cercana a la calle	06/02/08	12:20 AM.	C. Caicedo	Las muestras de tomaron en un punto con abundante humedad.

Elaborado por Cynthia Caicedo.2008

Cuadro 5. Coordenadas de los puntos de muestreo Parque Metropolitano Guanguiltagua 2008

Punto de muestreo	Coordenadas		Altura (metros)
	Norte	Este	
1	17'782.016	9'978.926	2955
2	17'782.060	9'978.968	2968
3	17'782.117	9'978.990	2970
4	17'782,338	9'979.098	2972
5	17'782.215	9'979.198	2971
6	17'782.075	9'979.106	2974
7	17'781.990	9'979.072	2973
8	17'781.923	9'979.116	2973
9	17'781.902	9'979.124	2967
10	17'781.843	9'979.190	2957
11	17'781.726	9'979.130	2929
12	17'781.726	9'979.130	2929
13	17'781.719	9'979.090	2932
14	17'781,834	9'978.972	2920
15	17'781.920	9'978.886	2942

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Nota: Datos obtenidos con GPS.

4.1.2 RESULTADOS DE LA PROLIFERACIÓN SELECTIVA

Una vez que las muestras fueron transportadas hasta en laboratorio de microbiología de la Universidad Central, el mismo día que fueron realizados los muestreos, se procedió a realizar muestras compuestas de las hojas y del suelo, obteniendo así tres variables de inoculación: hojas, suelo, y una mezcla en relación 50:50 de hojas más suelo.

Después de veinte y cuatro horas de inoculación, se evidenció el crecimiento microbiano por presencia de mayor turbidez en los medios de cultivo, confirmando así la presencia de actividad microbiana en las muestras tomadas. Las muestras fueron codificadas de la siguiente manera como se observa en el cuadro 6.

Cuadro 6. Codificación de las muestras. Parque Metropolitano 2008.

Código de la muestra	Descripción
M1	Mezcla de suelo de los distintos puntos de muestreo
M2	Mezcla proporcional 50/50 de suelo y hojas en proceso natural de degradación
M3	Hojas en proceso natural de degradación.

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Las cajas inoculadas se mantuvieron a temperatura ambiente, y luego de cinco días se obtuvieron los resultados detallados en el cuadro 7:

Cuadro 7: Resultados proliferación selectiva

Código de la muestra	Número de caja	Dilución	Evidencia de crecimiento	Tipo de crecimiento
M1	Caja 1	-1	Positivo	Hongos blancos Hongos blancos con manchas verdes Hongos blanquecinos Levaduras amarillas
	Caja 2	-3	Negativo	
	Caja 3	-5	Positivo	Crecimiento escaso. Hongos blancos Hongos blancos con manchas verdes
M2	Caja 1	-1	Positivo	Crecimiento masivo. Hongos blancos Hongos blancos con manchas verdes
	Caja 2	-3	Positivo	Hongos blancos Hongos blancos con manchas verdes
	Caja 3	-5	Negativo	
M3	Caja 1	-1	Positivo	Ligero crecimiento de colonias blanquecinas y verdes.
	Caja 2	-3	Negativo	
	Caja 3	-5	Negativo	

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

En algunas cajas no se obtuvo crecimiento alguno, probablemente porque el medio minimal fue específico, ya que el usar lignina y celulosa como fuente de carbono, sólo se esperaba el crecimiento de los microorganismos fúngicos capaces de degradar de los mencionados compuestos, coincidiendo así con lo que expresan Atlas y Bartha (2002) en

su obra Ecología microbiana y Microbiología ambiental, ya que mediante ajustes en la composición química del medio de cultivo se diseñan técnicas selectivas para microorganismos concretos, debido a que la habilidad de un microorganismo determinado para crecer en un medio en particular depende de su capacidad de asimilar y emplear determinados nutrientes orgánicos e inorgánicos.

El crecimiento obtenido fue irregular, de manera general en todas las cajas se obtuvo el crecimiento de colonias blancas de distintos tamaños, y algunas tardaron hasta siete días para crecer en el medio de cultivo.

Para las diluciones de 10^{-5} , sólo se obtuvo un escaso crecimiento de los microorganismos aislados a partir de las muestras de suelo, y no se obtuvo crecimiento alguno de los que microorganismos aislados a partir de hojas y una mezcla de hojas y suelo, por lo tanto se descartaron las mencionadas cajas para la segunda siembra.

Como se observa en el cuadro 7, hay un mayor crecimiento de hongos en las cajas que fueron inoculadas a partir de las muestras de suelo, y una mezcla 50/50 de hojas y suelo. Éste resultado era esperado ya que Atlas y Bartha (2002), corroboran, que el suelo y las raíces de los árboles son el hábitat propicio para el desarrollo de microorganismos, ya que por definición el suelo contiene una gran diversidad microbiológica, siendo los hongos en general la proporción más elevada de biomasa microbiana. Ésta abundancia y diversidad microbiológica del suelo se debe a las concentraciones de materia orgánica y a los exudados de las raíces que son una fuente esencial de nutrientes y favorecen el desarrollo de las comunidades fúngicas del suelo.

4.1.3 RESULTADOS DEL AISLAMIENTO DE MICROORGANISMOS FÚNGICOS

Cuadro 8. Resultados segunda siembra microbiana

Código de la muestra	Número de tubo	Dilución	Colonias Identificadas	Forma de la colonia	Observaciones
M1	Caja 1	-1	Blanco	Estrellada	
			Blanco cremoso	Redondo	
		-1	Verde	Redondo	
	Caja 2	-3	Blanquecino	Estrellada	Luce como una pelusa
		-3	Negativo	Negativo	No hubo crecimiento
M2	Caja 1	-1	Blanco	Redondo	Presencia de dos colonias grandes
		-1	Blanquecino	Estrellada	
		-1	Blanco cremoso	Redondo	Crecimiento escaso
	Caja 2	-3	Blanco con puntos verdes	Redondo	Crecimiento masivo
		-3	Verde	Estrellada	
M3	Caja 1	-1	Blanco cremoso	Redondo	Crecimiento de colonias grandes
		-1	Verde	Estrellada	
	Caja 2	-3	Negativo	Negativo	No creció en la primera siembra

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

A diferencia de la primera siembra, en la segunda, no se obtuvo la presencia de levaduras. El crecimiento de colonias de color blanco se evidenció en la mayoría de las cajas, en el caso de algunas colonias blancas que presentan manchas verdes, por lo que fue necesario comprobar que se trató de una sola especie en una tercera siembra.

El obtener como resultados cultivos puros, permite la posibilidad de separar las diferentes especies fúngicas, de manera que se pueda cumplir con los objetivos que Rittmann y Mc Carty (2001) en su libro “Biotecnología del Medio Ambiente” especifican, los cuales son: Primero, separar cepas individuales de una comunidad con lo cual se pueden determinar los fenotipos de los microorganismos de forma individual. Segundo,

reproducir las células de una misma especie, con el fin asegurar las aplicaciones biotecnológicas, y además observar con más facilidad las características que una especie presenta, lo cual se dificultaría si el análisis se hiciese con células microbianas individuales.

Al realizar la cuantificación de celulosa y lignina de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, se obtuvo como resultado que la composición de las hojas corresponde en un 40% a lignina y un 60% a celulosa y otros compuestos. Razón por la cual se trabajó con medios de cultivo que contengan 50% de celulosa y 50% de lignina, ya que además, de acuerdo a Foth (1985) en su libro “Fundamentos de la Ciencia del Suelo”, la composición parcial de lignina en los tejidos vegetales varía de un 10-30%, mientras que la composición de celulosa varía de un 20-50%, asegurando así el crecimiento de los hongos el momento de ser inoculados en las composteras.

Sin embargo para asegurar el aislamiento de los hongos con mayor capacidad degradadora, una vez que se han obtenido cultivos puros, se realizó una tercera siembra en donde varió la cantidad de lignina, obteniendo los resultados que se observan en el cuadro 9.

De los resultados obtenidos, los hongos que crecieron en las cajas con una concentración de lignina del 60%, fueron los mismos que se obtuvieron en las cajas con una concentración del 40%, por lo tanto se trabajó en la fase de proliferación y selección, con los hongos que crecieron en la concentración de 50% de lignina y 50% de celulosa, asegurando así su capacidad degradadora el momento de aplicarlos en campo.

Cuadro 9. Resultados tercera siembra microbiana

Dosis de lignina	Código de la muestra	Número de caja	Colonias identificadas	Forma de la colonia	Observaciones	
100% lignina	M1	Caja 1	Negativo	Negativo	No hubo crecimiento	
		Caja 2	Negativo	Negativo	No hubo crecimiento	
	M2	Caja 1	Negativo	Negativo	No hubo crecimiento	
		Caja 2	Negativo	Negativo	No hubo crecimiento	
	M3	Caja 1	Negativo	Negativo	No hubo crecimiento	
		Caja 2	Negativo	Negativo	No hubo crecimiento	
50-50 lignina y celulosa	M1	Caja 1	Blanco	Estrellada	Presencia de una colonia grande	
		Caja 2	Blanco con verde	Redondo	Crecimiento masivo	
	M2	Caja 1	Blanco	Redondo	Crecimiento de tres colonias	
		Caja 2	Verde con amarillo	Redondo	Presencia de colonias abundantes pero pequeñas	
	M3	Caja 1	Blanco con verde	Redondo	Crecimiento de cuatro colonias	
		Caja 2	Negativo	Negativo	No se evidenció crecimiento	
	60% lignina-40% celulosa	M1	Caja 1	Verde	Redondo	Crecimiento masivo de puntos verdes
			Caja 2	Blanquecino	Estrellada	Crecimiento irregular por toda la caja
M2		Caja1	Blanco con verde	Redondo	1 colonia grande	
		Caja2	Blanco	Redondo	1 colonia grande	
M3		Caja1	Verde con amarillo	Redondo	Varias colonias pequeñas	
		Caja2	Negativo	Negativo	No se evidenció crecimiento	

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Como resultado final de la fase de aislamiento, se obtuvieron cinco especies distinguidas por su coloración y forma como se aprecia en el cuadro 10:

Cuadro 10. Resultado aislamiento de especies fúngicas

Número	Coloración	Forma
1	Blanco	Redondo
2	Blanquecino	Estrellada
3	Blanco con puntos verdes	Redondo
4	Verde	Redondo
5	Verde con amarillo	Redondo

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

4.1.4 RESULTADOS SELECCIÓN Y PURIFICACIÓN.

Los hongos obtenidos en los medios de cultivo con una concentración del 50% de celulosa y 50% de lignina, fueron inoculados en medio de cultivo comercial sabouro. Dada la cantidad de nutrientes y componentes del medio comercial, el crecimiento de los hongos fue masivo para todos los casos y la tinción de cada una de las especies aisladas fue distinta a la que se obtuvo en el crecimiento en el medio minimal. La inoculación de los hongos en el medio de cultivo comercial se repitió dos veces, ya que en la primera siembra el medio de cultivo no coaguló adecuadamente y además se obtuvo la presencia de bacterias por lo que se vió la necesidad de repetir el procedimiento. Los resultados obtenidos de la siembra el medio comercial se presentan en el cuadro 11.

Cuadro 11. Resultado siembra en medio comercial Sabouro

Número de caja	Colonias observadas	Forma	Observaciones
1	Blanco con verde	Crecimiento masivo	Crecimiento uniforme en toda la caja
2	Verde con puntos blancos	Redondo	Crecimiento de colonias aisladas
3	Blanco granulado	Estrellada	Crecimiento de colonias aisladas con textura granulada
4	Rosado	Irregular	Crecimiento de colonias alargadas y con una textura similar al algodón
5	Verde oscuro	Crecimiento masivo	Crecimiento uniforme en toda la caja
6	Blanco liso	Crecimiento masivo	Crecimiento uniforme en toda la caja
7	Verde oscuro con puntos amarillos	Crecimiento masivo	Crecimiento uniforme en toda la caja

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Luego de siete días de ser inoculadas las cajas se llegó a la conclusión que las colonias 1 y 2 son la misma especie al igual que la caja 3 y 6, ya que presentan las mismas características de crecimiento y coloración. El trabajar con cultivos puros como lo mencionan Atlas y Bartha (2002), permite diferenciar características específicas de la especie, como la capacidad de usar determinados nutrientes, o la coloración que presenta, para así poder diferenciarlos y definir si se trata o no de distintas especies.

Para el caso de las cajas 1 y 7, al presentar dos tipos de coloración, existía la posibilidad de que fueran dos especies diferentes de hongos en la misma caja, razón por la cual se realizó una cuarta siembra, obteniendo los mismos resultados de coloración.

4.1.5 RESULTADOS ANTAGONISMO DE HONGOS

Una vez obtenidas las cepas fúngicas a ser aplicadas en el ensayo de biotransformación de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, éstas fueron sometidas a una prueba de antagonismo, para observar si existe inhibición de crecimiento por parte de una especie a otra. Las pruebas de interacción entre estos microorganismos presentes en el compost se realizaron para asegurar que no existiese competencia, ni producción de sustancias inhibitoras secretadas al medio. Las cinco diferentes especies identificadas, fueron sembradas juntas, obteniendo así los resultados que se observan en el cuadro 12.

De las diez combinaciones de siembra realizadas, la caja con el número de cepas 1-7, fue descartada por la presencia de bacterias, lo que indica su contaminación. En la mayoría de cajas se evidenció el crecimiento de las dos especies, lo cual nos indica que pueden ser inoculadas paralelamente en las composteras, ya que no se producen sustancias tóxicas inhibitoras de crecimiento, que permitan a una de las especies crear una ventaja competitiva natural como lo aseveran Atlas y Bartha (2002).

La única caja en la que se evidenció un crecimiento masivo de una de las especies fue la caja en la que fueron inoculadas las cepas 5 y 7, en la que probablemente la cepa de color verde oscuro inhibió el crecimiento de la cepa de color verde con puntos amarillos, sin embargo como se puede observar en el cuadro 12, la cepa de color verde oscuro presenta crecimiento en todas las cajas, pero no inhibe el crecimiento de las otras especies, por lo tanto el cocktail que se utilizará en las composteras será inoculado con las cinco especies aisladas, asegurando así que no se produzca una colonización del hábitat y que las otras especies fúngicas logren sobrevivir.

Cuadro 12. Resultado antagonismo de especies fúngicas.

Número de caja de combinación de cepa	Crecimiento
1-3	Existe crecimiento de las dos especies. El halo de la hifa del hongo blanco con verde es más grande que el hongo blanco. Sin embrago se observa una delimitación de crecimiento entre las dos especies.
1-4	Se observa un doble crecimiento. En la base se encuentra el hongo blanco con verde y en la superficie el hongo rosado.
1-5	Se observa el crecimiento de varias colonias distribuidas en toda la caja. Las colonias son de color blanco, verde y verde oscuro.
1-7	Descartado por contaminación con bacterias
3-4	El halo de crecimiento de la hifa del hongo rosado es mayor al del hongo blanco. Sin embargo se evidencia claramente la barrera de crecimiento entre los dos.
3-5	El crecimiento del hongo verde oscuro fue masivo en la base del medio de cultivo, sin embrago en la superficie se evidencian tres colonias grandes de color blanco con puntos verdes.
3-7	Crecimiento de colonias distribuidas por toda la caja. Se observaron cuatro colonias blancas y cinco colonias verdes con amarillo.
4-5	El crecimiento del hongo verde oscuro fue masivo en la base del medio de cultivo, y se observa una colonia bastante grande de color rosado en la superficie del hongo.
4-7	Crecimiento de las colonias grandes rosadas y una colonia grande de color verde en el lado derecho de la caja.
5-7	Crecimiento masivo de hongo verde oscuro en toda la caja.

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

4.2 CONTROL DEL PROCESO

4.2.1 CONTROL DE VARIABLES AMBIENTALES

Las variables ambientales que fueron monitoreadas en las doce camas durante la fase de campo fueron: temperatura, pH, conductividad y humedad. Cabe mencionar que la zona del vivero es una zona fría y con presencia de humedad debido al denso bosque que rodea el área. Además el tiempo que las camas permanecieron en el

vivero fue de seis semanas, tiempo en el cual el clima se caracterizó por las constantes lluvias y los fríos vientos, factores que afectaron la temperatura y humedad de las camas.

4.2.1.1 TEMPERATURA Y pH

Tabulando los datos de los monitoreos realizados durante la fase de campo, se obtuvo los siguientes valores para cada una de las camas de las tres diferentes dosis.

Cuadro 13. Datos temperatura y pH. Dosis 1. Parque Metropolitano 2008

Semana	Fecha	CAMA 1		CAMA 2		CAMA 3	
		Temperatura °C	pH	Temperatura °C	pH	Temperatura °C	pH
Primera	11/06/2008	18	6.86	17	6.90	17	6.82
	15/06/2008	16	6.84	16	6.84	16	6.86
Segunda	19/06/2008	18	6.90	16	6.90	17	7.01
	22/06/2008	18	7.20	18	6.90	16	6.90
Tercera	26/06/2008	16	6.91	16	6.66	16	6.63
Cuarta	02/07/2008	17	6.64	16	6.63	17	6.72
	06/07/2008	19	5.90	18	5.90	18	5.92
Quinta	09/07/2008	20	6.94	19	6.85	19	6.65
	13/07/2008	19	6.50	18	6.66	18	6.66
Sexta	16/07/2008	17	6.80	17	6.74	17	6.68
	20/07/2008	17	6.62	16	6.48	17	6.54

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

	Temperatura °C	pH
Valor máximo	20	7.2
Valor mínimo	16	5.9
Valor promedio	17.3	6.7

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Como se puede observar en el cuadro 13, y en el gráfico 1 Anexo 7, los resultados de las mediciones de temperatura y pH en las tres diferentes camas de la dosis 1, no presentaron una variación significativa.

El pH de las camas se mantuvo en un valor promedio de 6.7, el cual se considera un valor óptimo ya que el margen de pH tolerable para hongos es de 5-8 de acuerdo a Alonso (2003), por lo tanto, permitió el normal y adecuado desempeño de las especies fúngicas inoculadas. El valor máximo obtenido de pH es de 7.2, el cual es un valor adecuado para el proceso de compostaje ya que mientras más neutro sea el compost permitirá el mayor desempeño microbiano, según la bibliografía de Alonso (2003). El valor mínimo obtenido fue de 5.9, el cual se presentó en la cuarta semana de compostación, en la cual la actividad microbiana aumentó gracias al incremento en la temperatura de las camas, lo cual conlleva a la formación de ácidos orgánicos, debido a la digestión realizada por bacterias y hongos que liberan ácidos tales como ácido acético, palmítico, esteárico, oleico, linólico y linolénico de acuerdo a Pino et.al (2005).

La temperatura de la dosis 1, se mantuvo en un nivel promedio de 17.3 °C; la temperatura de las tres camas se mantuvo constante e incrementó a partir de la cuarta semana, ya que en la tercera semana del proceso, debido a las constantes lluvias en la zona, las camas presentaron un exceso de humedad, lo cual disminuyó la temperatura de las mismas, obteniendo así un valor mínimo de temperatura de 16° C. A partir de la cuarta semana, fue controlada la humedad de las camas y se obtuvo así un valor máximo de 20°C. En la sexta semana del proceso se evidenció una disminución de la temperatura, lo cual podría ser un indicador de la etapa final del proceso, ya que de acuerdo a Plaster (2000) en su obra “La ciencia del suelo y su manejo”, la temperatura de las pilas comienza a caer paulatinamente cuando el compost está listo.

Cuadro 14. Datos temperatura y pH. Dosis 2. Parque Metropolitano 2008.

Semana	Fecha	CAMA 1		CAMA2		CAMA 3	
		Temperatura °C	pH	Temperatura °C	pH	Temperatura °C	pH
Primera	11/06/2008	18	6.69	18	6.76	17	6.85
	15/06/2008	19	6.72	18	6.79	17	6.88
Segunda	19/06/2008	18	6.80	19	6.90	18	6.90
	22/06/2008	18	6.78	18	6.72	17	6.72
Tercera	26/06/2008	18	6.60	17	6.73	16	6.80
Cuarta	02/07/2008	20	6.67	19	5.90	17	6.66
	06/07/2008	21	6.07	19	6.20	18	5.91
Quinta	09/07/2008	20	6.62	20	6.73	19	6.74
	13/07/2008	19	6.67	21	6.82	20	6.75
Sexta	16/07/2008	20	6.80	19	6.84	18	6.78
	20/07/2008	18	6.90	17	6.85	19	6.87

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

	Temperatura °C	pH
Valor máximo	21	6.90
Valor mínimo	16	5.90
Valor promedio	18.5	6.70

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Los datos obtenidos para las tres camas de la dosis 2, presentaron una variación constante del pH y la temperatura en función del tiempo, como se puede observar en el cuadro 13 y en gráfico 2 Anexo 7.

El pH de la dosis 2, se mantuvo en un rango ligeramente ácido durante todo el proceso, obteniendo así un valor promedio de 6.7, el cual representa un valor óptimo para el desempeño de bacterias y hongos de acuerdo a Alonso (2003). Al igual que en la dosis 1, el valor mínimo alcanzado de pH corresponde al valor de 5.9 debido a la actividad microbiana y a la formación de ácidos débiles, sin embargo en la sexta semana del proceso se evidenció un aumento del valor de pH en las camas, debido según Alonso (2003) a la formación de amonio como producto de degradación de proteínas y aminoácidos contenidos en la materia orgánica. El valor máximo de pH alcanzado en la dosis 2 fue bastante cercano a la neutralidad, ya que se obtuvo un valor de 6.9.

Las temperaturas alcanzadas en las tres diferentes camas, fueron superiores a las evidenciadas en las de la dosis uno, debido a la presencia de un mayor número de microorganismos cuya actividad incrementó la temperatura a un valor promedio de 18.5 °C. En la cuarta semana del proceso se evidenció un ligero incremento de la temperatura en especial en las camas 1 y 2, sin embargo en la cama 3 no se obtuvo el mismo resultado ya que la temperatura se mantuvo por debajo del valor promedio debido a un exceso de humedad, que disminuyó el valor mínimo de la dosis a 16°C. A partir de la quinta semana, se obtuvo un incremento homogéneo de la temperatura de las tres camas, obteniendo así un valor máximo de 21° C, para la dosis 2.

Cuadro 15. Datos temperatura y pH. Dosis 3. Parque Metropolitano 2008.

Semana	Fecha	CAMA 1		CAMA 2		CAMA 3	
		Temperatura °C	pH	Temperatura °C	pH	Temperatura °C	pH
Primera	11/06/2008	18	6.85	18	6.74	17	6.77
	15/06/2008	17	6.83	18	6.80	16	6.81
Segunda	19/06/2008	17	6.80	17	6.80	17	6.80
	22/06/2008	18	6.69	19	6.74	16	6.68
Tercera	26/06/2008	18	6.86	18	6.70	18	6.58
Cuarta	02/07/2008	20	6.82	19	6.82	18	6.69
	06/07/2008	22	6.80	19	6.40	19	6.70
Quinta	09/07/2008	20	6.83	20	6.80	20	6.55
	13/07/2008	21	6.88	22	6.59	20	6.72
Sexta	16/07/2008	19	6.78	19	6.73	18	6.70
	20/07/2008	18	6.81	18	6.75	19	6.74

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

	Temperatura °C	pH
Valor máximo	22	6.88
Valor mínimo	16	6.40
Valor promedio	18.6	6.73

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

De acuerdo a los datos obtenidos para las dosis 1 y 2, se podría decir que la dosis 3 fue la más eficiente térmicamente, y la que más estable y cercano a la neutralidad mantuvo los niveles de pH a lo largo del proceso. Como se observa en el cuadro 15 y en el gráfico 3

Anexo 7, las tres repeticiones de la dosis tres, mantuvieron un comportamiento homogéneo tanto para los valores de temperatura como para los valores de pH.

El pH de las tres diferentes camas, se mantuvo en un nivel ligeramente ácido hasta la tercera semana, ya que a partir de la cuarta semana, el pH fue aumentando hasta alcanzar valores cercanos a la neutralidad. Cabe recalcar, que según Alonso (2003) en el compostaje de materiales orgánicos, el pH se mantiene cercano a la neutralidad o ligeramente básico, debido al efecto tampón de la materia orgánica. El valor de pH promedio obtenido fue de 6.72, y a lo largo del proceso, a pesar de la formación de ácidos básicos como productos de la degradación del material, el valor de pH mínimo fue de 6.40, y un máximo de 6.88, manteniendo así un pH óptimo para el crecimiento microbiano durante todo el proceso.

Como se mencionó anteriormente, la dosis 3, fue la más eficiente térmicamente, ya que las camas se mantuvieron con un valor promedio de 18.6 °C, alcanzando una temperatura máxima de 22°C y una mínima de 16°C. Cabe mencionar, que a pesar de ser la dosis con un mayor incremento de la temperatura, no se alcanzó la temperatura mencionada por Atlas (2002) dentro de una pila de compost, que corresponde a un rango de 45 a 60°C dependiendo del material.

Cuadro 16. Datos temperatura y pH. Blanco. Parque Metropolitano 2008.

Semana	CAMA BLANCO 1			CAMA BLANCO 2		CAMA BLANCO 3	
	Fecha	Temperatura °C	pH	Temperatura °C	pH	Temperatura °C	pH
Primera	11/06/2008	16	6.89	15	6.80	15	6.72
	15/06/2008	16	6.85	16	6.88	15	6.76
Segunda	19/06/2008	15	6.78	16	6.81	16	6.70
	22/06/2008	17	6.77	16	6.66	14	6.65
Tercera	26/06/2008	14	6.80	14	6.70	15	6.73
Cuarta	02/07/2008	16	6.84	16	6.84	15	6.79
	06/07/2008	15	6.81	16	6.88	16	5.80
Quinta	09/07/2008	14	6.75	15	6.87	15	6.58
	13/07/2008	16	6.74	16	6.85	16	6.62
Sexta	16/07/2008	15	6.82	15	6.83	16	6.69
	20/07/2008	16	6.81	16	6.80	16	6.68

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

	Temperatura °C	pH
Valor máximo	17	6.89
Valor mínimo	14	5.80
Valor promedio	15.5	6.70

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Las camas blanco, no presentaron un considerable incremento de temperatura, manteniéndose en un valor promedio de 15.5 °C, y un valor máximo de 17 °C. En días fríos y lluviosos, las camas descendieron su temperatura hasta valores de 14 °C, lo cual dificultó el desarrollo de los microorganismos y por lo tanto el proceso de degradación de las hojas. Por otro lado los niveles de pH, son semejantes a los obtenidos en las tres diferentes dosis, probablemente por la presencia de estiércol en las camas blancos, que aportó con la formación de ácidos orgánicos débiles que mantuvieron el pH del medio ligeramente ácido, en especial durante la quinta y sexta semana del proceso, como se aprecia en el cuadro 16 y en gráfico 4 Anexo 7.

Cuadro 17. Comparación pH y temperatura de las dosis y el blanco. Parque Metropolitano. 2008

	Temperatura °C			
	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3	Blanco
Valor máximo	20	21	22	17
Valor mínimo	16	16	16	14
Valor promedio	17.3	18.5	18.6	15.5

	pH			
	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3	Blanco
Valor máximo	7.20	6.90	6.88	6.89
Valor mínimo	5.90	5.90	6.40	5.80
Valor promedio	6.70	6.70	6.73	6.70

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Analizando el cuadro 17, podemos observar que las dosis 1, 2 y 3 funcionan con un rango de temperatura que se mantiene relativamente en el mismo nivel (entre 17°C y 20°C) y la cama blanco en un rango de dos grados centígrados menos.

Ahora, como se mencionó anteriormente la temperatura de las camas no alcanzó los niveles establecidos en un proceso estándar de compostaje, en el cual la temperatura se

diferencia en dos rangos: mesofílico que va desde 25 a 45 °C y el rango termofílico que va desde los 40 a 60 °C, de acuerdo a Atlas & Bartha (2002). Las razones para esta diferencia de temperatura alcanzada, se presentan a continuación:

- La temperatura de las camas se mantuvo en directa relación a la temperatura ambiental, la cual se vió afectada por constantes lluvias durante las tres primeras semanas del proceso, lo que además produjo un exceso de humedad en algunas cama, a pesar de que se encontraban cubiertas por plástico negro.
- El control de la humedad de las camas se realizó con volteos de aireación tres veces por semana, por parte del personal del vivero Guasipungo, sin embargo, los niveles de temperatura no se elevaron como se esperaba, y se obtuvo una temperatura representativa de 17 a 20 grados centígrados para las tres dosis. Puede considerarse que la temperatura no se incrementó, por el tamaño de las camas, ya que para facilitar el proceso, y debido al número de repeticiones que se realizó, el tamaño de las mismas fue de 1 m² de superficie, por 0.5 m. de altura aproximadamente, lo que nos da como resultado un volumen de 500 litros para cada una de las camas; mientras que el un volumen recomendando por Alonso (2003) es de 700 litros.
- Se estima que los ascensos y descensos que se observan en las curvas de cada dosis (Ver Anexo 7), fue debido a los frecuentes volteos realizados, ya que esto pudo provocar que la temperatura descienda y se eleve nuevamente.
- Las doce camas fueron cubiertas con plástico negro, para evitar los excesos de humedad y mantener la temperatura, sin embargo la presencia de un invernadero, hubiera ayudado a aislar las camas de la lluvia, e incrementar los valores de temperatura obtenidos.

4.2.1.3 CONTROL DE LA HUMEDAD

Durante las dos primeras semanas del proceso, la humedad de las camas fue excesiva, lo que de acuerdo con Alonso (2003), podría producir una putrefacción de la materia orgánica, ya que el agua ocupa los poros y da paso a un proceso anaeróbico. Por lo tanto, durante la tercera y cuarta semana se logró mantener la humedad entre un 40% y 50%, que Haug (1993) es la humedad óptima para el compostaje de material vegetal fresco. Para las dos semanas y medias restantes del proceso, el material empezó a mantener la humedad constante, y el riego de las camas se realizó una sola vez por semana.

4.2.1.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

En el control de las características del compost, una de las variables más importantes es la conductividad eléctrica, ya que nos indica la salinidad del mismo, la cual no debe ser muy superior a 2 mS/cm. para no provocar toxicidad a las plantas, según Fernández (2002). En los diferentes muestreos realizados se obtuvieron valores de conductividad eléctrica, menores a 2 mS/cm, como se muestra a continuación:

Cuadro 18. Valores conductividad eléctrica Dosis 1. Parque Metropolitano 2008.

Semana	Fecha	Conductividad mS/cm		
		CAMA 1	CAMA 2	CAMA 3
Primera	11/06/2008	0.097	0.076	0.076
	15/06/2008	0.102	0.085	0.092
Segunda	19/06/2008	0.088	0.107	0.099
	22/06/2008	0.093	0.087	0.101
Tercera	26/06/2008	0.107	0.105	0.093
Cuarta	02/07/2008	0.098	0.128	0.091
	06/07/2008	0.063	0.176	0.159
Quinta	09/07/2008	0.118	0.128	0.137
	13/07/2008	0.110	0.133	0.154
Sexta	16/07/2008	0.115	0.141	0.191
	20/07/2008	0.132	0.208	0.177

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

	Conductividad mS/cm
Valor máximo	0.208
Valor medio	0.090
Valor mínimo	0.127

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Cuadro 19. Valores conductividad eléctrica Dosis 2. Parque Metropolitano 2008.

Semana	Fecha	Conductividad mS/cm		
		CAMA 1	CAMA 2	CAMA 3
Primera	11/06/2008	0.084	0.106	0.116
	15/06/2008	0.093	0.098	0.091
Segunda	19/06/2008	0.105	0.103	0.093
	22/06/2008	0.109	0.110	0.091
Tercera	26/06/2008	0.121	0.130	0.102
Cuarta	02/07/2008	0.130	0.155	0.107
	06/07/2008	0.137	0.105	0.141
Quinta	09/07/2008	0.122	0.174	0.154
	13/07/2008	0.148	0.121	0.116
Sexta	16/07/2008	0.165	0.192	0.160
	20/07/2008	0.195	0.196	0.188

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

	Conductividad mS/cm
Valor máximo	0.196
Valor medio	0.084
Valor mínimo	0.131

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Cuadro 20. Valores conductividad eléctrica Dosis 3. Parque Metropolitano 2008

Semana	Fecha	Conductividad mS/cm		
		CAMA 1	CAMA 2	CAMA 3
Primera	11/06/2008	0.109	0.112	0.113
	15/06/2008	0.110	0.116	0.107
Segunda	19/06/2008	0.106	0.103	0.103
	22/06/2008	0.125	0.098	0.099
Tercera	26/06/2008	0.130	0.134	0.126
Cuarta	02/07/2008	0.136	0.141	0.131
	06/07/2008	0.128	0.101	0.117
Quinta	09/07/2008	0.143	0.183	0.126
	13/07/2008	0.116	0.131	0.122
Sexta	16/07/2008	0.125	0.167	0.134
	20/07/2008	0.181	0.203	0.189

Elaborado por: Cynthia Caicedo.2008

	Conductividad mS/cm
Valor máximo	0.203
Valor medio	0.098
Valor mínimo	0.131

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Cuadro 21. Valores conductividad eléctrica. Blanco. Parque Metropolitano 2008

Semana	Fecha	Conductividad mS/cm		
		CAMA 1	CAMA 2	CAMA 3
Primera	11/06/2008	0.077	0.078	0.097
	15/06/2008	0.080	0.071	0.102
Segunda	19/06/2008	0.114	0.102	0.088
	22/06/2008	0.105	0.095	0.093
Tercera	26/06/2008	0.103	0.104	0.107
Cuarta	02/07/2008	0.092	0.085	0.098
	06/07/2008	0.113	0.099	0.063
Quinta	09/07/2008	0.121	0.116	0.115
	13/07/2008	0.141	0.121	0.110
Sexta	16/07/2008	0.157	0.149	0.118
	20/07/2008	0.161	0.155	0.132

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

	Conductividad mS/cm
Valor máximo	0.161
Valor medio	0.063
Valor mínimo	0.110

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Como se puede observar en los cuadros 18 , 19, 20 y 21 (Ver Anexo 7, gráficos 9-12) los valores de conductividad eléctrica de las tres dosis y las camas blanco, se mantuvieron en valores menores a 1 mS/cm, lo cual, concordando con Pino et.al. (2005), probablemente se debió al nivel de precipitaciones en la zona, lo cual constituyó un factor muy importante en el lavado del contenido de sales en las camas. Sin embargo a partir de la cuarta y quinta semana, se evidenció un incremento de la conductividad en las diferentes camas, gracias al avance de la descomposición del material, que junto a la pérdida de masa, permite el aumento en la concentración de las sales, según Pino et.al (2005).

Cabe recalcar, que la conductividad eléctrica se mantuvo por debajo del valor referencial para compostaje, el cual corresponde a 2mS/cm según Fernández (2002), ya que la presencia y acumulación de sales, dependerá principalmente de la composición química de los residuos empleados, y el compostaje es una técnica generalmente empleada para el manejo de desechos orgánicos, los cuales a medida que aumentan su descomposición, permiten la acumulación de una mayor cantidad de sales, comparadas con las generadas en un proceso de descomposición de las hojas de eucalipto mezcladas con estiércol.

4.2.1.4 RESULTADOS DEL ABONO

Luego de 45 días de proceso, se observaron en las diferentes camas, las siguientes peculiaridades:

- Existe en las camas una reducción equitativa, de aproximadamente el 40% del volumen inicial. Sin embargo las camas testigo o blanco, presentan un porcentaje

de reducción menor que corresponde al 30% del inicial. Cabe mencionar que éstos datos concuerdan con Atlas (2002), ya que con la descomposición aeróbica de la materia orgánica, se pierde aproximadamente dos tercios del volumen inicial de residuos, ésta pérdida es en forma de CO₂ proveniente principalmente de la descomposición de la hemicelulosa y celulosa, por la evaporación del agua producida por los microorganismos y por la energía liberada en forma de calor.

- En la mayoría de las camas, el material presenta un color negro, y no se evidencia mal olor, por el contrario es un olor agradable, característico del eucalipto.

Una vez realizados los análisis correspondientes a cada muestra, se obtuvieron los resultados expuestos en el cuadro 22. (Ver Anexo 8)

Cuadro 22. Resultados químicos de los abonos obtenidos. Parque Metropolitano 2008.

	DOSIS 1	DOSIS 2	DOSIS 3	BLANCO
Materia Orgánica (%)	74.36	64.21	50.56	65.96
Nitrógeno Total (%)	3.72	3.21	2.53	3.30
Relación Carbono/Nitrógeno	11.59	11.60	11.59	11.59
Fósforo (ppm)	105	90	98	110
Potasio (cmol/kg.)	2.55	3.06	2.04	3.06
Calcio (cmol/kg.)	18.7	18.55	16.2	17.35
Magnesio (cmol/kg.)	4.53	4.85	3.46	4.03
Hierro (ppm)	14.7	17.0	34.3	27.1
Manganeso (ppm)	370	273	261	182,5
Cobre (ppm)	4.1	4.5	6.1	4.1
Zinc (ppm)	15.3	15.4	14.3	15.3
Boro (ppm)	1.65	2.0	2.55	1.6
Azufre (ppm)	100	40	50	60

Fuente: Informe de análisis del Laboratorio de suelos y aguas SESA
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

En el cuadro 22, se muestran los resultados de la evaluación química de los abonos obtenidos por las diferentes dosis inoculadas y la cama blanco o testigo. Una de las propiedades más importantes del compost, es la relación carbono-nitrógeno, ya que son dos elementos esenciales utilizados por los microorganismos para su desarrollo, biodegradación y por consiguiente el sustrato sobre el cual se desarrollan, de acuerdo a Montoya (2004), en su estudio sobre la realización de una planta de compostaje en la Universidad Autónoma de México, establece que la relación inicial de carbono nitrógeno para las hojas de eucalipto es de 33.78. Tomando en cuenta que aproximadamente los 2/3 del carbono son utilizados como CO₂ durante el proceso, y el resto es combinado con el nitrógeno para el desarrollo celular⁵³, el valor promedio final de la relación carbono-nitrógeno varía de 12 a 15, dependiendo del material, por lo tanto como se puede apreciar en el cuadro 22, el valor de la relación carbono nitrógeno, para las tres dosis y la cama blanco, es prácticamente el mismo y corresponde a un valor de 11.60 para la dosis dos y 11.59 para la dosis uno, tres y la dosis testigo, lo que indica que existió una degradación del material, ya que gracias a las pérdidas de carbono generadas la relación disminuyó. La dosis blanco, presenta una relación semejante a las otras dosis, probablemente por la acción de los microorganismos presentes en el estiércol, y por la presencia de las mismas especies de hongos inoculadas en las dosis 1, 2 y 3, ya que éstas fueron aisladas a partir de muestras tomadas cercanas a la zona del vivero.

“Si bien el valor de la relación C:N no puede ser tomado como indicador único y absoluto de madurez debido al rango relativamente amplio de variación, de acuerdo a la naturaleza del material, el valor final como se mencionó anteriormente debe ser de 12 a 15 ya que es un valor adecuado como para que una vez el compost sea aplicado en el suelo, sea capaz de inducir el consumo de nitrógeno del mismo por parte de los microorganismos”.⁵⁴

En cuanto al resultado de macronutrientes, los valores de nitrógeno, fósforo y potasio, presentan en las tres dosis y en el blanco valores altos según el nivel de referencia de abonos para suelos de la Sierra dados por el SESA 2008, lo que lleva a suponer que una

⁵³ http://www.obras.unam.mx/cecolog/composta_intr_c.html

⁵⁴ CARIELLO, M. CASTANEDA, L. *et al.* Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. 2007, Vol. 7, No. 3, pp. 26-35.

de las fuentes principales para éstos elementos fue el estiércol, además del producto obtenido. Cabe mencionar que al ser éste un proceso de mineralización de la materia orgánica, los macronutrientes obtenidos, se encuentran en formas disponibles para su asimilación tanto por las plantas como por el suelo, lo que no ocurre con la mayoría de los fertilizantes artificiales.

Para el caso del nitrógeno, éste se mantuvo estable para los cuatro tratamientos, la dosis uno reportó el más alto contenido con un valor de 3.72%, mientras que la más baja fue la dosis tres con un contenido de 2.53%. Para el fósforo la cama blanco obtuvo el más alto contenido, con un valor de 110 ppm, y el más bajo contenido fue reportado en la dosis dos, con un valor de 90 ppm. Finalmente el potasio, obtuvo el valor más alto de contenido tanto en la cama blanco, como en la dosis dos, con un valor de 3.06 cmol/kg, mientras que el más bajo fue el contenido de la dosis tres con una concentración de 2.04 cmol/kg. Los contenidos de materia orgánica mermaron en los cuatro tratamientos en el transcurso del tiempo.

Analizando el contenido de micronutrientes u oligoelementos en las tres dosis, más la blanco o testigo, los valores de los elementos al igual que en los macronutrientes, son bastante semejantes, lo cual permite pensar que el volumen de variación de las dosis inoculadas no fue el suficiente como para obtener datos que nos permitan establecer eficiencias de rendimiento microbiano; y con respecto a la dosis blanco, como se mencionó anteriormente, el estiércol contenido, pudo facilitar la proliferación de hongos degradadores de celulosa y lignina. Además la concentración de algunos microelementos, está condicionada por la presencia de macronutrientes en el suelo, es así como el potasio estabiliza el manganeso, hierro y magnesio; por otro lado el nitrógeno ayudará a estabilizar el boro, cobre y zinc, equilibrando así su contenido y acción en suelo y plantas.

Para el caso del hierro, se observa en todas las dosis y la blanco, que se encuentra en un nivel medio de concentración, esto se explica ya que por reacciones intrínsecas en el suelo del Parque Metropolitano Guanguiltagua, no se forma hierro de manera asimilable, por lo tanto los árboles son deficientes del mismo, es por esta razón que la descomposición de las hojas, no permitió que se alcance un nivel alto de concentración como en los otros microelementos.

Sin embargo, a pesar de la semejanza de datos obtenidos, el cálculo del índice de rendimiento del abono, permite establecer la dosis con mejor rendimiento y velocidad de degradación, como se muestra a continuación, en el cuadro 23:

Cuadro 23. Cálculo del porcentaje de rendimiento del abono obtenido. Parque Metropolitano 2008.

	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3	Blanco
Materia Orgánica %	88.70	100.00	86.35	67.99
Nitrógeno Total %	88.71	100.00	86.29	68.01
Fósforo %	100.00	89.09	81.82	95.45
Potasio %	100,00	83.33	100.00	66.67
Calcio %	92.78	100.00	99.20	86.63
Magnesio %	83.09	93.40	100.00	71.34
Hierro %	79.01	42.86	49.56	100.00
Manganeso %	49.32	100.00	73.78	70.54
Cobre %	67.21	67.21	73.77	100.00
Zinc %	99.35	99.35	99.35	99.35
Boro %	62.75	64.71	78.43	100.00
Azufre %	100.00	40.00	50.00	60.00
Sumatoria total	1010.93	979.95	978.56	985.99
Valor promedio del % de rendimiento	84.24	81.66	81.55	82.17

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

De acuerdo a la calificación asignada a cada uno de los parámetros, como se puede observar en el cuadro 22, la dosis uno es la mejor opción, para lograr obtener un abono de alta calidad, ya que tiene un índice promedio de 84.24, seguido por el blanco o testigo con un valor de 82.17, la dosis dos con un valor de 81.66 y finalmente la dosis 3 con un valor de 81.55, como se puede apreciar, la diferencia entre los valores es mínima. Las razones para la obtención de los porcentajes se detallan a continuación:

- El estiércol no tiene una composición fija. Esta depende de la edad de los animales de que procede, de la especie, de la alimentación a que están sometidos, trabajo que realizan, aptitud, naturaleza y composición de camas, de acuerdo a Álvarez del Vayo (2006); por lo tanto su composición pudo haber variado en cada una de las camas de las diferentes dosis, alterando así al valor final de los componentes del abono. Cabe recalcar que el estiércol que se usó para las camas o composteras, se encontraba mezclado con aserrín, en una proporción desconocida, y el aserrín es un material poco recomendable en la preparación del compost ya que su degradación es lenta.
- La actividad microbiana de las composteras pudo variar debido a su ubicación, a las condiciones climáticas, y al contenido microbiano de estiércol.
- El rango de diferencia de dosificación entre las camas, no fue suficiente para obtener resultados comparables entre sí. Sin embargo se pudo observar que la inoculación de los mismos, si aceleró el proceso y aumentó el porcentaje de disminución de las camas dosificadas, comparándolas con las camas blanco o testigo.

Para complementar el análisis de la calidad del abono obtenido, se realizó un conteo de microorganismos presentes, tanto de hongos como de coliformes totales por la presencia del estiércol. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en el cuadro 24. (Ver Anexo 9)

Cuadro 24. Resultados microbiológicos de los abonos obtenidos

	DOSIS 1	DOSIS 2	DOSIS 3	BLANCO
Mohos (UFC/g)	3.9×10^5	4.1×10^5	4.6×10^5	3.6×10^5
Levaduras (UFC/g)	8.0×10^4	1.0×10^4	1.0×10^4	1.2×10^5
Coliformes Totales (UFC/g)	3.2×10^5	4.5×10^5	4.7×10^5	3.3×10^5

Fuente: Centro de Investigaciones Microbiológicas y Control de Calidad.
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Como se puede apreciar en el cuadro 24, la cantidad de los hongos que se inocularon están contemplados dentro del grupo de los mohos, y la variación de la cantidad de éstos, aumenta de acuerdo a la dosis que se inoculó. Además cabe mencionar que la viabilidad de las inoculaciones, es una variable que no se puede controlar ni predecir, razón por la cual existe una diferencia mínima entre las dosis inoculadas y las blanco o testigo.

En cuanto a coliformes totales, el valor de las camas es alto en comparación a resultados obtenidos en otros estudios, y probablemente se debe a que según Atlas 2002, la mayoría de las especies contempladas en el grupo de coliformes totales, mueren cuando se alcanzan en el compostaje temperaturas superiores a los 55 ° C, y como se mencionó anteriormente, en el proceso la temperatura no alcanzó dichos valores. Sin embargo, el compost será utilizado como mejorador de las características del suelo, y no será utilizado para fines agrícolas, por lo tanto no implica un riesgo para salud humana.

CONCLUSIONES

- El *Eucalyptus globulus*, es una especie que predomina en el área del Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito, y ha constituido uno de las principales causantes del deterioro de la calidad del suelo, ya que absorbe una mayor cantidad de agua, nutrientes y posee sustancias que resultan tóxicas para algunas especies tanto de flora como de fauna.
- El compostaje es una técnica eficiente de degradación de materia orgánica, condicionada tanto por factores ambientales como temperatura, humedad y pH, como por las características metabólicas de los microorganismos asociados al proceso; y se aplica con el fin de obtener un producto de alta calidad y con características que permitan la mejora de las condiciones del suelo.
- Los microorganismos utilizados en el ensayo, fueron cinco especies distintas de hongos, aislados a partir de muestras tomadas en la zona del Vivero Guasipungo del Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito, y son especies capaces de degradar celulosa y lignina, en un tiempo promedio de dos semanas, a condiciones óptimas de laboratorio, razón por la cual se realizaron tres inoculaciones durante las seis semanas del ensayo realizado.
- La dosis tres, fue la más eficiente térmicamente, alcanzando un valor máximo de temperatura de 22°C, y un valor promedio de 18.6°C, sin embargo no fue el valor esperado, debido al volumen de las camas, y a las condiciones climáticas de la zona. El incremento de la temperatura, hubiera acelerado el proceso, gracias a la acción de microorganismos mesófilos cuyo metabolismo favorece la degradación de la materia orgánica.
- La conductividad eléctrica medida durante el proceso en cada una de las camas, se mantuvo en un rango de 0.161 a 0.203 mS/cm, como valores máximos alcanzados, los cuales son aceptables para compost. Durante el ensayo la conductividad eléctrica mantuvo una tendencia a subir ya que mientras se degrada la materia orgánica, se liberan sales que contribuyen al aumento de la misma.

- La relación carbono/nitrógeno obtenida para las tres dosis y para la dosis blanco o testigo, fue de 11.60, la cual indica que la velocidad metabólica y de mineralización fue la óptima, y los microorganismos lograron degradar y obtener dosis altas de macro y micro nutrientes. Ésta relación indica que el número de microorganismos fue estable durante el desarrollo del proceso.
- La calidad de un abono orgánico depende del destino final de éste, ya que los requerimientos nutricionales de las plantas y del suelo varían de diferentes maneras, sin embargo según el Servicio de Sanidad Agropecuaria, los niveles de nutrientes en las cuatro dosis estudiadas alcanzan niveles altos, por lo tanto se logró obtener un abono de óptimas características.
- A pesar de los cercanos valores obtenidos en los resultados de las tres dosis y el blanco, la dosis uno, fue la más eficiente para la obtención de un abono de buena calidad y aplicable para la recuperación de las características del suelo del área del vivero del Parque Metropolitano Guanguiltagua.
- El estiércol utilizado en el proceso, fue proveniente de las caballerizas de la Policía Nacional, ubicadas cerca de la zona del vivero, sin embargo el estiércol contiene una gran cantidad de aserrín lo cual dificulta su degradación y lo hace un estiércol deficiente en nutrientes y materia orgánica.
- La aplicación del producto obtenido en el suelo del Parque Metropolitano Guanguiltagua, posiblemente favorecerá la estabilización de las relaciones de los nutrientes, elevará el pH, mejorará la relación carbono-nitrógeno, activará la actividad microbiana y la densidad aparente, favoreciendo así a la posible mejora de las características del suelo para una posible revegetación.

RECOMENDACIONES

- Construir un invernadero en la zona del vivero, con el fin de optimizar las condiciones del proceso de compostaje, aislar las composteras de las condiciones climáticas, y facilitar el incremento de la temperatura.
- La identificación en próximos estudios, de las cinco especies fúngicas degradadoras de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, con el fin de profundizar su análisis, y establecer características básicas de cada una de ellas.
- Preparación del cocktail de hongos utilizado, para posteriores aplicaciones de la técnica de compostaje de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus* en el Vivero Guasipungo del Parque Metropolitano Guaguilitagua de Quito.
- Incrementar el rango de las dosis de inoculación para poder establecer diferencias y eficiencias microbianas de degradación de las hojas de la especie *Eucalyptus globulus*, se recomienda variar las dosis con valores de 50, 100 y 150 ml de cocktail por cada litro de agua inoculada semanalmente.
- Al ser el suelo del Parque Metropolitano Guaguilitagua de clase franco- arenoso-arcilloso, se recomienda añadir un promedio de 20 toneladas métricas al año por cada hectárea, para lograr mejorar su estructura y calidad.
- De acuerdo a los datos obtenidos, el abono puede ser utilizado para la siembra de plantas en el Vivero Guasipungo, y se recomienda mezclarlo con el abono que se trabaja en el vivero con el fin de incrementar el volumen y las características del mismo.
- Para optimizar la calidad y cantidad de nutrientes en el abono, se puede agregar úrea con el fin de mejorar la relación carbono-nitrógeno, o a su vez cambiar el estiércol de caballo por gallinaza.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCALÁ, Irma “Biodegradación de residuos orgánicos lignocelulíticos” México 2003.
- ALONSO Carlos, OLIAS Jesús “ Manual para la Gestión de los Residuos Urbanos” Editorial Ecoiuris España 2003 Capitulo VIII tratamiento de residuos orgánicos “ Compostaje”
- ATLAS, R.M. Y BARTHA,R. “Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental” Editorial Pearson Educación, S.A., Madrid, 2002.
- BAQUERO Juan, “Biodegradación del raquis de la palma africana, y su utilización como biofertilizante, mediante un proceso de compostaje en húmedo” Quito , 2005. Trabajo de grado (Ingeniero Ambiental). Universidad Internacional SEK. Facultad de Ciencias Ambientales.
- CANEDA, Rodolfo, “Cinética Química”, The General Secretarial of the OEA, segunda edición, Washington, 1998
- CASTILLO, Teresa, “Proteínas con afinidad a Celulosa: Una herramienta en biotecnología”, XX Aniversario de Biotecnología y Bioingeniería, Avances y Perspectivas vol. 21, 2002.
- CARRERE, Ricardo, “ Pinos y Eucaliptos en Ecuador, símbolos de un modelo destructivo” Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador, 2005.
- CARIELLO, María Ester, CASTANEDA, Liliana, RIOBO, Inés *et al.* Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, 2007, Vol. 7, No. 3, pp. 26-35. ISSN 0718-2791

- FERRARI DANIEL, “Metodología de experimentación en procesos microbiológicos” Madrid, 2003.
- FOTH Henry, “Fundamentos de la ciencia del suelo. Compañía Editorial Continental. México DF.1985. Pp. 165-168.
- GRANADOS RAQUEL & VILLAVERDE María “Microbiología”, Bacteriología, Medios de Cultivo, Pruebas bioquímicas y Micología en General. Editorial Praninfe. 1998 Pp. 32, 9-11
- HAUG, Robert, “The Practical Handbook of Compost Engineering”, Lewis Publisher, Estados Unidos, 1993.
- HENRY, Glynn J., “Ingeniería Ambiental”, Pearson Educación, segunda edición, México 1996
- HORTON, Robert, “Bioquímica”, Prentice Hall, México, 1995,
- MONROY, Oscar, “Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos, AGT EDITORSA, México, 1990. Pp. 57-63
- NUÑEZ, Leyla “Estudio del biodeterioro en Madera de *Eucalyptus Globulus*” Chile 2004.
- PLASTER Edward, “ La Ciencia del suelo y su manejo” Editorial Paraninfo, México 2000
- PINO G, Paulina, VARNERO M, María Teresa y ALVARADO V, Pablo. Dinámica del compostaje de residuos vitivinícolas con y sin incorporación de guano broiler. *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, dic. 2005, Vol. 5, No. 2, pp. 19-25. ISSN 0718-2791.
- SHEGEL, Hans, “Microbiología General”, Ediciones Omega, Barcelona 1998.

- RITTMANN B & Mc CARTY P. “Biotecnología del Medio Ambiente” Principios y aplicaciones Mc Graw Hill. España 2001 Pp. 20, 157-163

- ACCIÓN ECOLÓGICA, “Plantaciones de eucalipto: intercambio de experiencias comunidades afectadas Brasil – Ecuador, 2005
www.accionecologica.org/index.php?option=com_content&task=view&id=568&Item

- BÁRCENAS, Guadalupe & DÁVALOS, Raymundo; “ Importancia de la lignina en las concentraciones de la madera” 1999.
<http://www.ecologia.edu.mx/publicaciones/resumeness/5.1/pdf/Barcenass%20y%20Davalos%201999.PDF>

- CARRILLO, Leonor, “Microbiología, Agrícola” Capítulo 3. 2003
<http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap3.pdf>

- CORPORACIÓN DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA DE CHILE. “Manual de Compostaje” Septiembre 1999.
<http://www.cnpl.cl/documentos/doc%5Cmanuales%20generales%5CManual%20de%20Compostaje.pdf>

- FERNANDEZ, Jaime “Criterios de pH, temperatura, y humedad del proceso de compostaje” 2002.
www.compostadores.com/admin/articulos/editor/imgarticulos/compost_temperatura_humedad.pdf

- FUNDACIÓN VIDA PARA QUITO, “Datos Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito.” http://www.vidaparaquito.com/parque_metropolitano.htm

- MEDINA, Milagros, 2005. Departamento de Bioquímica. Facultad de Ingeniería Química.
www.unizar.es/departamentos/bioquimica_biologia/docencia/FMBvirtual/CultbBact/Reque.htm

- MÉTRO, Andrés “El Eucalipto en la reforestación Forestal” 1995
www.fao.org/DOCREP/004/AC459S/AC459S00.htm

- MIRABELLI Emilio. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Argentina
http://www.lombricompostaje.com.ar/descargas/Biodegradabilidad_de_los_elementos_vegetales_de_sosten.doc

- PAPANUTTI VL, FORCHIASSIN F, LEVIN Degradación de madera de álamo por *Fomes sclerodermeus*: producción de enzimas ligninolíticas en aserrín de álamo y cedro. Laboratorio de Micología Experimental, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina 2003. <http://www.reviberoammicol.com/2003-20/016020.pdf>

- PISABARRO Antonio,” Bioetanol a partir de residuos de la tala forestal” Universidad de Navarra España http://www.biofuel2g.com/Ponencias/Gerardo_pisabarro.pdf

- PROCESO DE ECUABONO, <http://google.com> / Antonio Carazo Álvarez del Vayo, <http://www.hoy.es/20071104/regional/estiercol-caballo-made-extremadura-20071104.html>

- RIZZO, Pablo, “Datos generales del Eucalipto”
<http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/ing20rizo/forestacion/especiesmaderas.htm>

- SISA, Joan “Estudio de los efectos del Eucalipto”
<http://www.ecoaldea.com/plmd/eucalipto.htm>

ANEXO 1

Protocolo de muestreo microbiológico realizado en el Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito. 2008

<u>Protocolo de muestreo de microbiología</u>	
Información general del muestreo	
Fecha de muestreo	_____
Hora de muestreo	_____
Responsable del muestreo	_____ Cynthia Caicedo _____
Información de la muestra	
Código de la muestra	<input type="text"/>
Volumen de muestra	_____
Estado de la muestra	Líquido <input type="checkbox"/> Sólido <input type="checkbox"/>
Ubicación	
Provincia	_____ Pichincha _____
Ciudad	_____ Quito _____
Lugar específico	_____
Observaciones	

ANEXO 3

Cronograma de actividades

Actividad general	Actividad específica	Fecha de inicio	Fecha final
Aislamiento de microorganismos fúngicos celulíticos	Inspección de diagnóstico del área	26/01/2008	26/01/2008
	Selección del material a muestrear	02/02/2008	03/02/2008
	Muestreo	06/02/2008	06/02/2008
	Transporte	06/02/2008	06/02/2008
	Proliferación selectiva	07/02/2008	12/02/2008
	Aislamiento	12/02/2008	07/04/2008
Selección y conservación de cepas	Selección y purificación de hongos	15/04/2008	30/04/2008
	Conservación de cepas fúngicas	06/05/2008	08/05/2008
	Reproducción de hongos	14/05/2008	22/05/2008
Diseño del ensayo de biotransformación	Elección del lugar	03/06/2008	03/06/2008
	Construcción de composteras	06/06/2008	06/06/2008
	Recolección y preparación del material	07/06/2008	08/06/2008
	Proceso de compostaje	08/06/2008	19/07/2008
Control y seguimiento de variables	Inoculación	08/06/2008	08/06/2008
		21/06/2008	21/06/2008
		04/06/2008	04/06/2008
	Aireación	08/06/2008	19/07/2008
		10/06/2008	12/06/2008
	Monitoreo de variables ambientales	17/06/2008	19/06/2008
		24/06/2008	26/06/2008
		02/07/2008	04/07/2008
		08/07/2008	10/07/2008
		15/07/2008	17/07/2008
	Determinación de celulosa y lignina	21/07/2008	23/07/2008
Análisis de nutrientes del abono	21/07/2008	A determinarse	

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

ANEXO 4

Plan de inoculación composteras Vivero Guasipungo, Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito. 2008

Fecha de inoculación	Identificación de cama		Dosis (ml/l)	Tiempo de proceso
08/06/2008	D1	C1,C2,C3	10	0
		C4	0	0
	D2	C1,C2,C3	20	0
		C4	0	0
	D3	C1,C2,C3	30	0
		C4	0	0
21/06/2008	D1	C1,C2,C3	10	13
		C4	0	13
	D2	C1,C2,C3	20	13
		C4	0	13
	D3	C1,C2,C3	30	13
		C4	0	13
04/07/2008	D1	C1,C2,C3	10	26
		C4	0	26
	D2	C1,C2,C3	20	26
		C4	0	26
	D3	C1,C2,C3	30	26
		C4	0	26

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

ANEXO 5

Plan de volteo y aireación de las composteras Vivero Guasipungo, Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito.

2008

Semana	Fecha de volteo	Volteo realizado en camas:												Responsable del volteo	Observaciones
		Dosis 1			Dosis 2			Dosis 3			Blanco				
		C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3		
Primera	11/06/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cynthia C.	
	13/06/2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cynthia C.	
	15/06/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cynthia C.	
Segunda	17/06/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Personal Vivero	
	19/06/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Personal Vivero	
	21/06/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cynthia C.	
Tercera	24/06/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Personal Vivero	
	26/06/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Personal Vivero	
	29/06/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cynthia C.	
Cuarta	02/07/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Personal Vivero	
	04/07/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Personal Vivero	
	06/07/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cynthia C.	
Quinta	08/07/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Personal Vivero	
	11/07/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cynthia C.	
	13/07/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cynthia C.	
Sexta	16/07/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cynthia C.	
	18/07/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cynthia C.	
	19/07/2008	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Cynthia C.	

Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

ANEXO 6

**Registro Fotográfico. Parque Metropolitano Guanguiltagua de
Quito. 2008**



Identificación puntos de muestreo



Muestreo en el sector del Vivero Guasipungo.



Colocación del material a compostar. 08/06/2008



Camas blanco. 10/06/2008



Distribución del material en las camas. 08/06/2008



Camas dosis 3 del proceso de compostaje.
10/06/2008



Medición de temperatura de las camas.
19/06/2008



Camas dosis 2 del proceso de
compostaje.21/06/2008



Material cama 1 Dosis 1. 21/06/2008



Material cama1 . Dosis 2. 21/06/2008



Hojas en proceso natural de degradación.
21/06/2008



Material cama 1. Dosis 3. 21/06/2008



Medición de conductividad y pH de las camas.
26/06/2008



Aireación camas del proceso de compostaje.
29/06/2008



Material cama 2. Dosis 1 13/07/2008



Material cama 2. Dosis 2. 13/07/2008



Material cama 2. Dosis 3. 13/07/2008



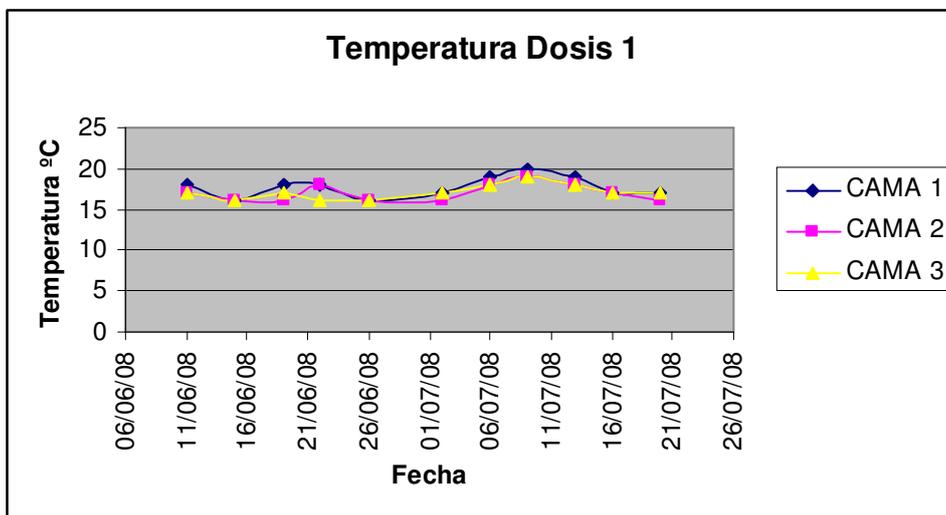
Material cama 2. Blanco o testigo.13/07/2008

	
<p>Producto final cama 3. Dosis 1. 20/07/2008</p>	<p>Volteo y aireación del material. 19/07/2008</p>
	
<p>Producto final cama 3. Dosis 2. 20/07/2008</p>	<p>Producto final cama 3. Dosis 3. 20/07/2008</p>
	
<p>Producto final Blanco o testigo. 20/07/2008</p>	<p>Mezcla de las camas para obtener muestras compuestas de cada dosis. 20/07/2008</p>

ANEXO 7

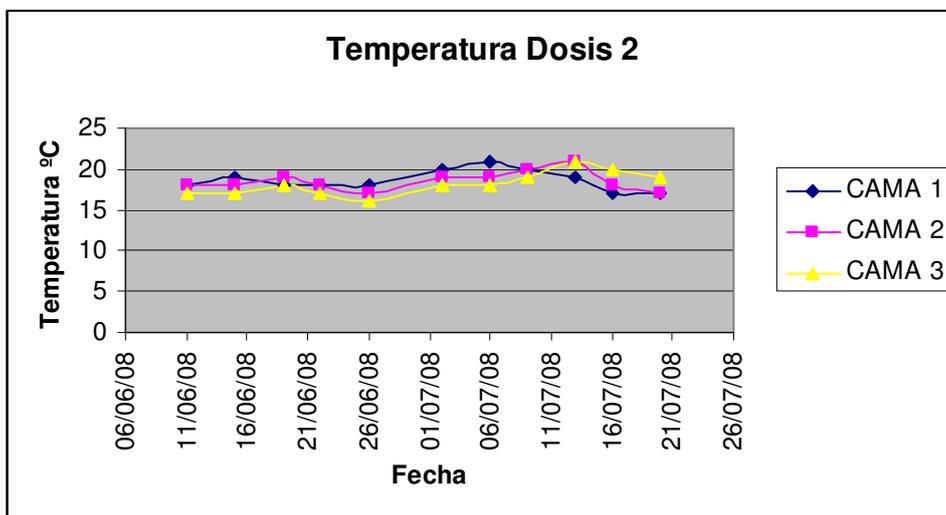
***Gráficos variación temperatura, pH y conductividad eléctrica. Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito.
2008***

Gráfico 1. Variación de temperatura Dosis 1



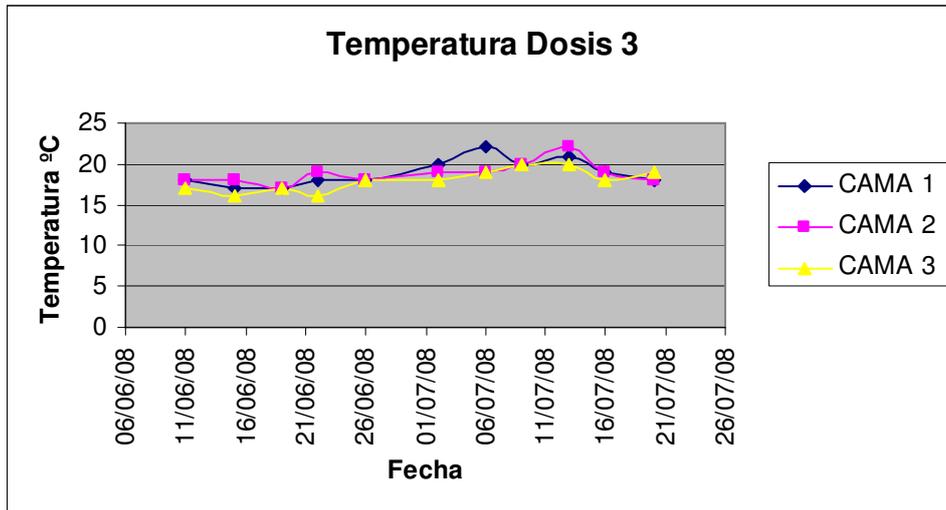
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Gráfico 2. Variación de temperatura Dosis.



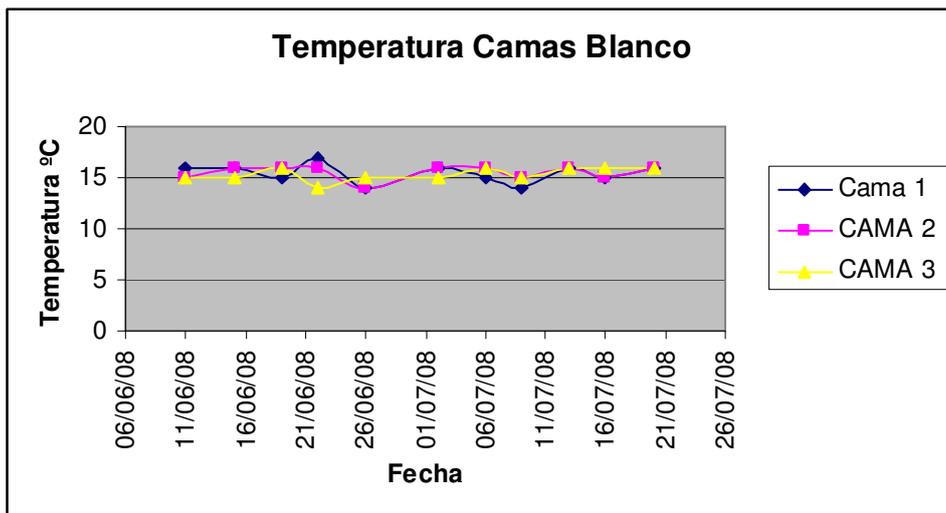
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Gráfico 3. Variación de temperatura Dosis 3.



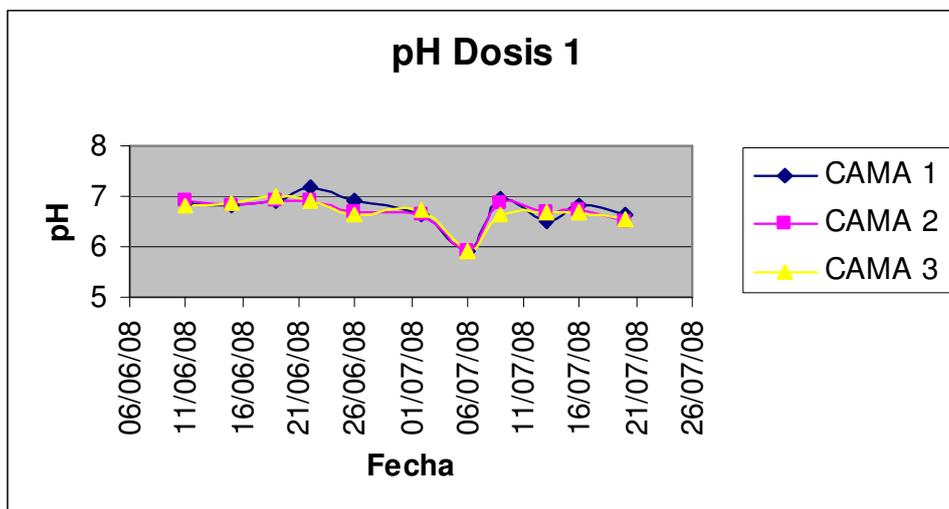
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Gráfico 4. Variación de temperatura Dosis Blanco.



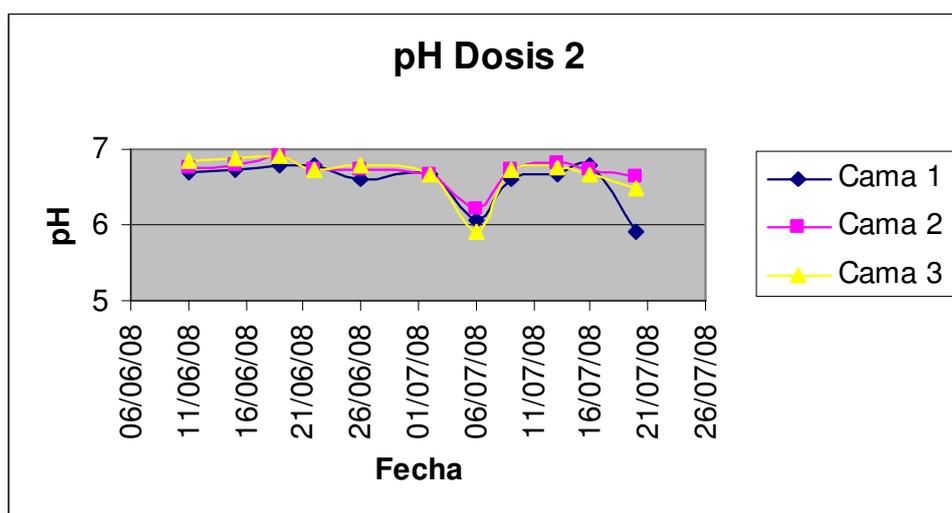
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Gráfico 5. Variación del pH. Dosis 1.



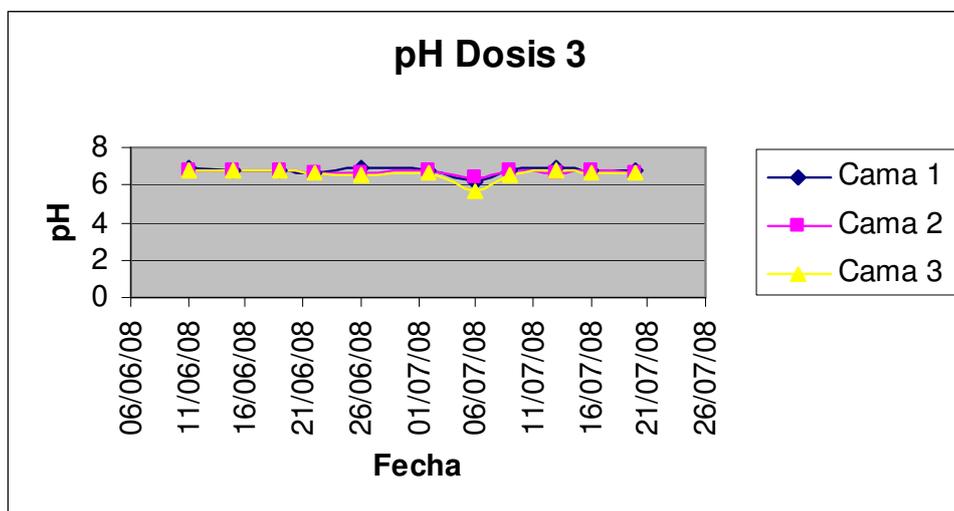
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Gráfico 6. Variación del pH. Dosis 2.



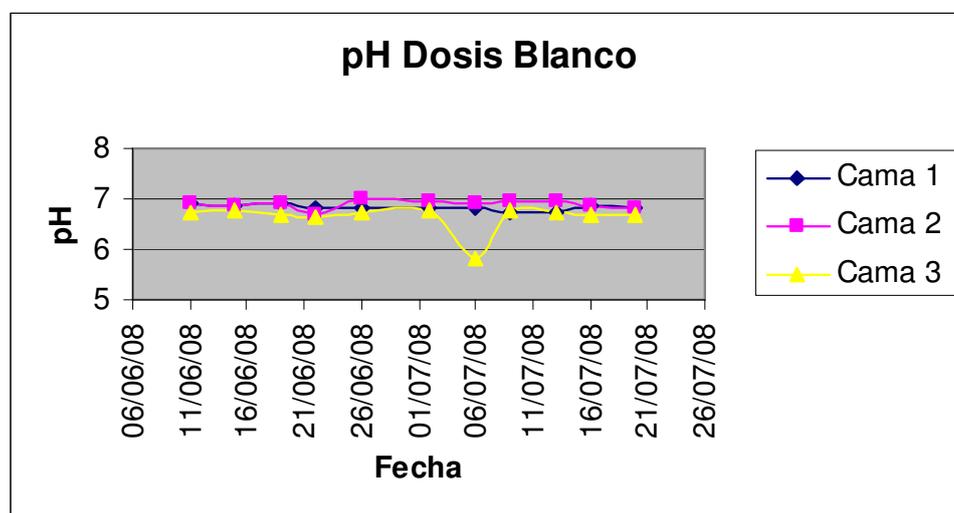
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Gráfico 7. Variación del pH. Dosis 3.



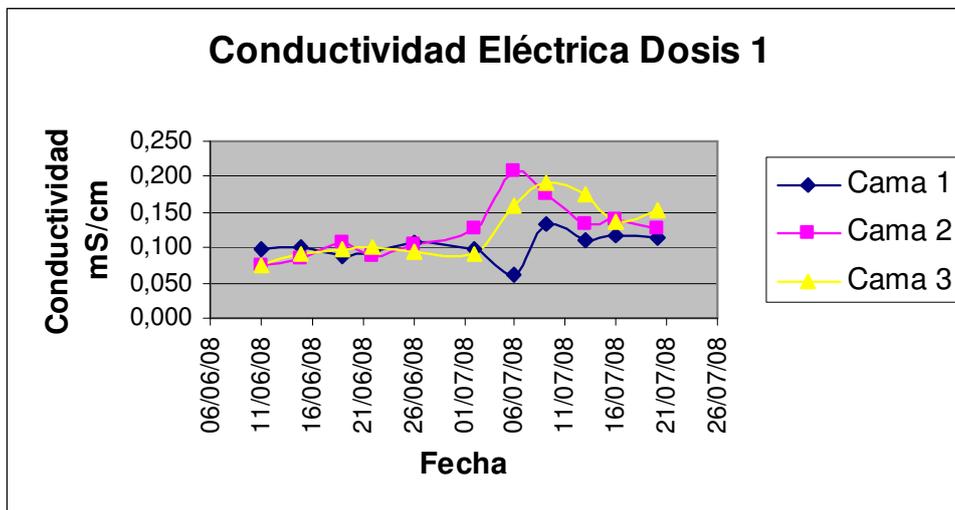
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Gráfico 8. Variación del pH. Dosis Blanco.



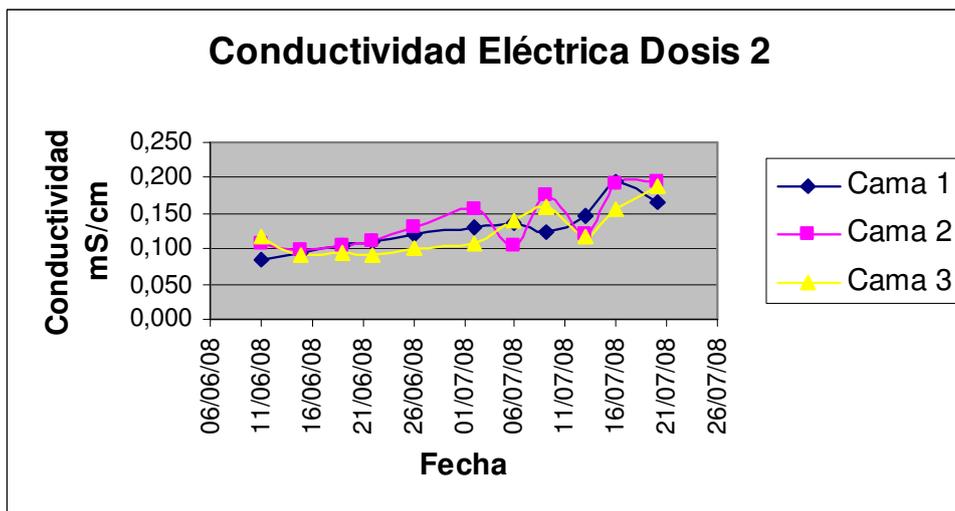
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Gráfico 9. Variación de la conductividad eléctrica. Dosis 1.



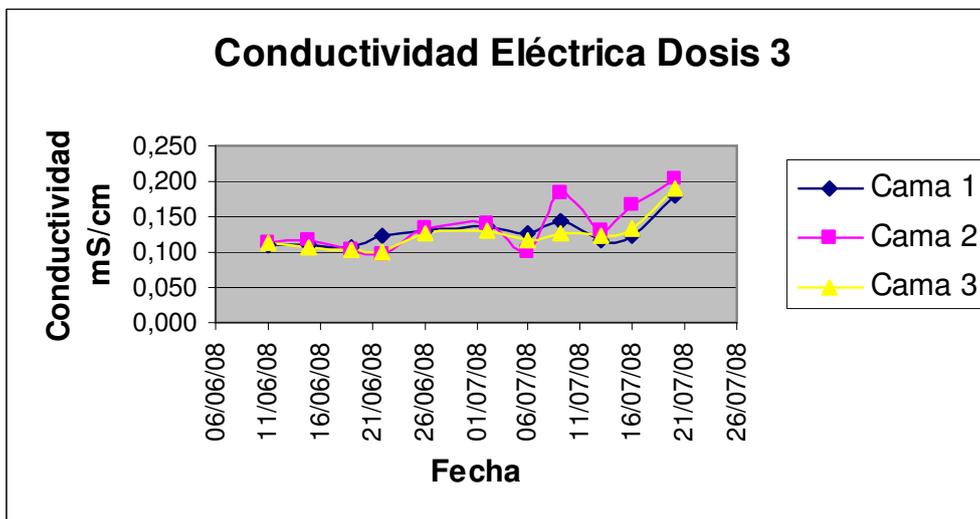
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Gráfico 10. Variación de la conductividad eléctrica. Dosis 2.



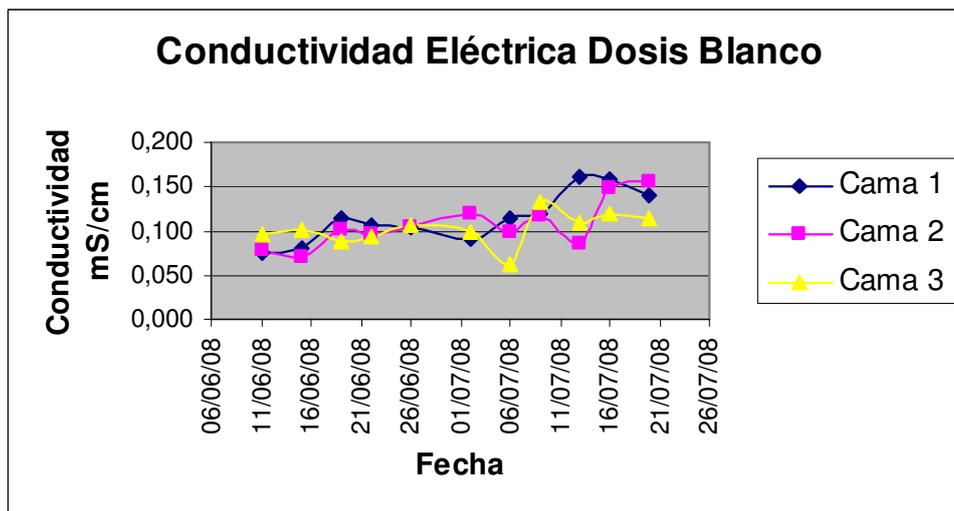
Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Gráfico 11. Variación de la conductividad eléctrica. Dosis 3.



Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

Gráfico 12. Variación de la conductividad eléctrica. Dosis Blanco.



Elaborado por: Cynthia Caicedo. 2008

ANEXO 8

***Resultados análisis químico del abono. Parque
Metropolitano Guanguiltagua de Quito. 2008***

ANEXO 9

***Resultados análisis microbiológico del abono,
Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito. 2008***