

Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Facultad de Ingeniería

1-1-2006

Estudio experimental del comportamiento de tres especies de eucalipto como alternativa de absorción de lixiviados

Alejandro Hernández Romero
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Hernández Romero, A. (2006). Estudio experimental del comportamiento de tres especies de eucalipto como alternativa de absorción de lixiviados. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/165

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DE TRES ESPECIES DE
EUCALIPTO COMO ALTERNATIVA DE ABSORCIÓN DE LIXIVIADOS**

ALEJANDRO HERNÁNDEZ ROMERO

CÓDIGO 41992078

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
ÁREA DE RESIDUOS SÓLIDOS
BOGOTÁ D.C.
2006**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DE TRES ESPECIES DE
EUCALIPTO COMO ALTERNATIVA DE ABSORCIÓN DE LIXIVIADOS**

ALEJANDRO HERNÁNDEZ ROMERO

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero Ambiental y Sanitario**

Director

MIGUEL ANGEL GAMBOA CASTELLANOS

Ingeniero Forestal.

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
ÁREA DE RESIDUOS SÓLIDOS
BOGOTÁ D.C.**

2006

Nota de aceptación.

**Miguel Ángel Gamboa
Castellanos
Director.**

Jurado.

Jurado.

Bogotá D.C. 2006

**Ni la Universidad, ni el
director del proyecto, ni
el jurado calificador son
responsables de las
ideas expuestas en éste
documento**

A la memoria de mi madre. A mi padre y a mis hermanos por su apoyo.

AGRADECIMIENTOS.

El autor expresa sus agradecimientos a:

El Director de la investigación, Ingeniero Miguel Ángel Gamboa Castellanos, por la dirección de la misma.

A la unidad ejecutiva de servicios públicos (UESP) en especial al ingeniero José Werner Mazuera. Por su amabilidad e interés en el desarrollo del proyecto.

Al laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, a su directora Yanneth Parra a su técnico Jorge Lozano Y a todos los monitores.

Al departamento de servicios generales de la Universidad De La Salle sede centro por la colaboración prestada para el desarrollo del proyecto.

El Docente Hugo Sarmiento Vela, por su orientación y colaboración en el desarrollo de la investigación.

Gisella Castrillón, Estadista de la Universidad Nacional por su colaboración en la parte estadística.

Sin ningún orden en especial a los ingenieros ambientales y sanitarios Angélica Díaz, Angélica Zafra, Liliana Muñoz, Ximena Guevara, Oscar Beltrán, y a la estudiante de ingeniería forestal Juliana Márquez.

Y a todas y cada una de las personas que de una u otra forma apoyaron la investigación.

CONTENIDO.

	Pág
INTRODUCCIÓN.....	22
OBJETIVO GENERAL.....	24
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
1. MARCO TEÓRICO.....	25
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE VEGETAL EUCALIPTO.....	25
1.1.2 Generalidades.....	25
1.1.3 Usos del Eucalipto.....	25
1.1.4 Especies empleadas durante la investigación.....	27
1.1.4.1 <i>Eucayptus Cínirea</i>	27
1.1.4.2 <i>Eucalyptus ficifolia</i>	27
1.1.4.3 <i>Eucalyptus Grandis</i>	28
1.2 LIXIVIADO.....	29
1.2.1 Composición de los lixiviados.....	29
1.2.1.1 Variaciones en la composición de los lixiviados.....	30
1.2.3 Efectos del lixiviado.....	31
1.2.3.1 Efectos a corto plazo.....	31
1.2.3.2 Efectos a largo plazo.....	32
1.2.3 Control de la lixiviación.....	33
1.2.4 Alternativas de tratamiento.....	33
1.2.4.1 Procesos anaerobios.....	33
1.2.4.2 Procesos aerobios.....	34
1.2.4.3 Sistemas Naturales.....	35
1.2.4.3 Evaporación.....	36
1.2.4.4 Recirculación de los lixiviados.....	37
1.2.4.5 Sistemas de membranas.....	38
1.3 MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES.....	40

1.3.1	Efectos de los nutrientes en las plantas.....	41
2.	DISEÑO METODOLÓGICO.	43
2.1	MUESTRA DE LIXIVIADO.....	43
2.1.1	Metodología de muestreo.	44
2.2	SELECCIÓN DE ESPECIES DE EUCALIPTO.	44
2.3	FASE EXPERIMENTAL.....	45
2.3.1	Características morfológicas.....	45
2.3.2	Pesaje del lixiviado.	45
2.3.3	Siembra de los árboles.	46
2.3.4	Rotulación.....	48
2.3.5	Invernadero.....	48
2.3.6	Temperatura.	49
2.3.7	Evaporación.....	50
2.3.8	Condición cero (C ₀).....	50
2.4	TOMA DE DATOS Y OBSERVACIONES.....	50
2.5	ESTUDIO DE LABORATORIO.	51
2.5.1	Selección de árboles para análisis en el laboratorio.....	51
2.5.2	Análisis de tejidos vegetales y suelo.....	51
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	53
3.1	MORFOLOGÍA.	53
3.1.1	Especie A (<i>Eucalyptus Grandis</i>).	55
3.1.2	Especie B (<i>Eucalyptus Cinerea</i>).	56
3.1.3	Especie C (<i>Eucalyptus Ficifolia</i>). En	58
3.1.3	Comparación morfológica entre especies.....	59
3.2	COMPORTAMIENTO CON RESPECTO AL PESO DE LAS ESPECIES.	60
3.2.1	Especie A (<i>Eucalyptus Grandis</i>).	60
3.2.2	Especie B (<i>Eucalyptus Cinerea</i>).	61
3.2.2	Especie C (<i>Eucalyptus Ficifolia</i>).	63

3.3	COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL PESO ENTRE ESPECIES.....	65
3.3.1	Ensayo sólido.	65
3.3.2	Ensayo semi-líquido.....	66
3.3.3	Ensayo líquido.	67
3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL COMPORTAMIENTO DEL PESO.....	68
3.5	ABSORCIÓN APARENTE (A_a).....	72
3.5.1	Especie A (<i>Eucalyptus Grandis</i>).	75
3.5.2	Especie B (<i>Eucalyptus Cinerea</i>).	76
3.5.3	Especie C (<i>Eucalyptus Ficifolia</i>	77
3.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ABSORCIÓN APARENTE.....	77
3.7	ANÁLISIS DE LABORATORIOS.	79
3.7.1	Análisis foliar.....	80
3.7.2	Análisis de otros tejidos vegetales.....	81
3.7.2.1	Tallo.....	81
3.7.2.2	Raíces.....	83
3.7.3	Análisis de suelo.....	84
3.8	ACUMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS CARACTERIZADOS	85
3.8.1	Especie B (<i>Eucalyptus Cinerea</i>).	85
3.8.2	Especie C (<i>Eucalyptus Ficifolia</i>).	86
3.8.3	Acumulación promedio.	87
4.	CONCLUSIONES.....	89
5.	RECOMENDACIONES.....	92
	BIBLIOGRAFÍA.....	94
	ANEXOS 96	

LISTA DE TABLAS.

	Pág
Tabla 1. Composición estándar de una muestra de lixiviado.....	30
Tabla 2. Identificación de las especies empleadas en la investigación.....	44
Tabla 3. Peso inicial de los árboles empleados en la investigación.....	47
Tabla 4. Condiciones iniciales de las especies.....	48
Tabla 5. Caracterización morfológica inicial.....	53
Tabla 6. Resultado de los cambios morfológicos.....	54
Tabla 7. Promedio mensual del peso de la especie A.	60
Tabla 8. Promedio mensual del peso de la especie B.	62
Tabla 9. Promedio mensual del peso (g) de la especie C.....	64
Tabla 10. Análisis de variancia de Duncan para la evaluación del peso.....	68
Tabla 11. Determinación del tiempo como variable.	69
Tabla 12. Prueba de comparación de Duncan por semanas.	69
Tabla 13. Análisis de variancia de Duncan para la evaluación del peso.....	70
Tabla 14. Prueba de comparación de Duncan para la evaluación del peso.	71
Tabla 15. Muestra del cálculo de la “absorción aparente” (A_a)	73
Tabla 16. Valores acumulados de la “absorción aparente” (A_a).....	74
Tabla 17. Tabla de ANOVA de la “absorción aparente”.....	78
Tabla 18. Grupos de Duncan para la “absorción aparente”.	79
Tabla 19. Análisis foliar de distintas especies de Eucalipto (mg/L).....	80
Tabla 20. Resultados análisis foliar especies B y C (mg/L).	81
Tabla 21. Resultados análisis de acumulación en las especies B y C (mg/L).	85
Tabla 22. Resultados análisis de acumulación incluyendo el suelo en las especies B y C (mg/L).	88

LISTA DE FIGURAS.

	Pág
Figura 1. Toma de muestra de lixiviado.	43
Figura 2. Metodología de muestreo por sesión.....	44
Figura 3. Especies empleadas para la investigación	45
Figura 4. Ensayos propuestos para la investigación.....	46
Figura 5. Distribución en planta de los experimentos.	49
Figura 6. Toma de datos y observaciones.	50
Figura 7. Procedimiento seguido en el laboratorio.....	52
Figura 8. Evolución foliar de la especie A durante la investigación.....	55
Figura 9. Evolución foliar de la especie B durante la investigación.....	56
Figura 10. Comparación visual entre el experimento y el testigo de la especie B.	57
Figura 11, Comparación de las raíces del experimento B1 al inicio y al final de la etapa de invernadero.	57
Figura 12. Evolución foliar de la especie C durante la investigación.	58
Figura 13. Comparación visual final entre el experimento y el testigo de la especie C.	59
Figura 14. Comparación de las raíces del experimento C1 al inicio y al final de la etapa de invernadero.	59
Figura 15. Comportamiento promedio mensual de la especie A.....	60
Figura 16. Adición de muestra de lixiviado y agua a los experimentos de la especie A.	61
Figura 17. Comportamiento promedio mensual de la especie B.....	62
Figura 18. Adición de muestra de lixiviado y agua a los experimentos de la especie B.	63
Figura 19. Comportamiento promedio mensual de la especie C.	64
Figura 20. Adición de muestra de lixiviado y agua a los experimentos de la especie C.	65

Figura 21. Comparación diaria entre especies del ensayo sólido	66
Figura 22. Comparación diaria entre especies del ensayo semi-líquido.	67
Figura 23. Comparación diaria entre especies del ensayo líquido.....	67
Figura 24. Promedio semanal del comportamiento de la evaporación.	73
Figura 25. Promedio diario de la “absorción aparente”	75
Figura 26. “Absorción aparente” acumulada mensual alcanzada por la especie A.	76
Figura 27. “Absorción aparente” acumulada mensual alcanzada por la especie B.	76
Figura 28. “Absorción aparente” acumulada mensual alcanzada por la especie C.	77
Figura 29. Comportamiento diario de la “absorción aparente” de las especies.	78
Figura 30. Resultados del análisis foliar.	80
Figura 31. Resultados del análisis de metales en el tallo.	82
Figura 32. Resultados del análisis de metales en la raíz.	83
Figura 33. Resultados del análisis de metales en el suelo.	84
Figura 34. Acumulación de elementos en el tejido vegetal de la especie B.....	86
Figura 34. Acumulación de elementos en el tejido vegetal de la especie C	86
Figura 35. Acumulación promedio de elementos en las especies B y C.....	87

LISTA DE ANEXOS.

	Pág
ANEXO A. REGISTRO DE TEMPERATURA.	97
ANEXO B. TOMA DE DATOS Y ODBSERVACIONES.	99
ANEXO B. TOMA DE DATOS Y ODBSERVACIONES.	99
ANEXO C. PROCEDIMIENTO EN EL LABORATORIO PARA LA PREPARACIÓN DE LAS DIGESTIONES.....	104
ANEXO D. PROCEDIMIENTO PARA LA LECTURA DE METALES EN EL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	105
ANEXO E. CARACTERIZACIONES MORFOLOGICAS.....	108
ANEXO F. COMPORTAMIENTO DIARIO DEL PESO DE LA ESPECIE A.	110
ANEXO G. COMPORTAMIENTO DIARIO DEL PESO DE LA ESPECIE B.....	113
ANEXO H. COMPORTAMIENTO DIARIO DEL PESO DE LA ESPECIE C.....	116
ANEXO I. CORRELACIONES ENTRE LAS ESPECIES.....	119
ANEXO J. COMPORTAMIENTO DIARIO DE LA EVAPORACION.	120
ANEXO K. RESULTADOS DE LA ABSORCIÓN APARENTE EN LA ESPECIE A	122
ANEXO L. RESULTADOS DE LA ABSORCIÓN APARENTE EN LA ESPECIE B	125
ANEXO M. RESULTADOS DE LA ABSORCIÓN APARENTE EN LA ESPECIE C.	128
ANEXO N. RESULTADOS DE LABORATORIO.....	131
ANEXO O. MUESTRA DE CÁLCULO DE LA ACUMULACIÓN PROMEDIO.	133

GLOSARIO.

ABSORCIÓN: captación de agua o productos químicos en disolución, por una célula u organismo. Ej Las raíces de un árbol absorben los nutrientes del suelo. Ejercer atracción una sustancia sólida sobre un fluido con el que esta en contacto, de modo que las moléculas penetran en ella.

ALBUMEN: Tejido que rodea el embrión de algunas plantas, como el trigo y el ricino, y le sirve de alimento cuando la semilla germina. Su aspecto varía según la naturaleza de las sustancias nutritivas que contiene, pudiendo ser carnoso, amiláceo, oleaginoso, córneo y mucilaginoso.

AXILA: Ángulo formado por la articulación de cualquiera de las partes de la planta con el tronco o la rama.

BIOACUMULACIÓN: Aumento de las concentraciones de sustancias tóxicas en el organismo; a través del tiempo, por causas naturales u antropogénicas. Ocurre en el caso que las sustancias ingeridas, no son excretadas ni descompuestas (sustancias no biodegradables).

CORIÁCEAS: hojas con apariencia similar a la del cuero

EXUDACIÓN: Salir por los poros o las grietas del recipiente que lo contiene. Dicho de un líquido o de una sustancia viscosa:

FITORREMEDIACIÓN: Conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroderivados; por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad

fisiológica y bioquímica para absorber, retener, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas.

FITOEXTRACCIÓN: Es la captación de iones metálicos por las raíces de la planta y su acumulación en tallos y hojas.

HIPERTONIA: Que tiene mayor presión en el paso de disolvente pero no de soluto entre dos disoluciones de distinta concentración (hace referencia a diferencia de presiones o a concentraciones altas)

INFLORESCENCIA: Forma en que aparecen colocadas las flores en las plantas.

LANCEOLADA: Hojas de base más o menos amplia, redondeada y atenuada hacia el ápice. En forma de punta de lanza. Dicho de una hoja o de sus lóbulos: De forma semejante al hierro de la lanza.

LIGANDOS: moléculas neutras o iones negativos que forman enlaces con algún metal a través de sus pares de electrones libres; estos enlaces son covalentes de tipo

LIXIVIADO: Residuo líquido resultante de la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales. Sustancias líquidas de las capas superiores del suelo que son disueltas y arrastradas hacia las capas inferiores y en algunos casos hasta el agua subterránea.

MIRTÁCEAS: Se dice de los árboles y arbustos angiospermos dicotiledóneos, casi todos tropicales, de hojas generalmente opuestas, en las cuales, lo mismo que en la corteza de las ramas, suele haber glándulas pequeñas y transparentes llenas de aceite esencial; con flores blancas o encarnadas, y cáliz persistente en el fruto, que es capsular y contiene diversas semillas sin albumen

NECRÓTICA. Característica por la Degeneración de un tejido por muerte de sus células.

OBCORDADO: hace referencia a la hoja cordiforme que tiene la parte más ancha en el ápice.

OBLANCEOLADO: Con forma oblonga y lanceolada.

OBLONGO: Más largo que ancho o excesivamente largo.

OLIGOELEMENTO: Todo elemento químico que es indispensable, en pequeñísimas cantidades, para completar el crecimiento de plantas y animales.

PECÍOLO/ PEDÚNCULO: Rama pequeña que sostiene la hoja, la inflorescencia o el fruto en las plantas.

PEDICELO: Dícese del cabillo o rabillo de una flor en las inflorescencias compuestas.

PERCOLACIÓN: es la circulación vertical de agua en el suelo a través de a zona de infiltración, lo que posibilita su llegada a las capas freáticas donde se encuentran los causes subterráneos.

RADICULAR: Este término hace referencia a un sistema de tratamiento de aguas, en el cual su principio de funcionamiento es la absorción de contaminantes por medio de las raíces de las plantas.

RIZOFILTRACIÓN: Es similar a la fitoextracción, pero en lugar de cultivar las plantas en el suelo, se cultivan en invernaderos por procesos hidropónicos. Las

plantas se cultivan en tanques con agua contaminada y los tóxicos quedan fijados en sus raíces.

UMBELAS: Grupo de flores o frutos que nacen en un mismo punto del tallo y se elevan a igual o casi igual altura.

VALVA: cada una de las partes de la cáscara de un fruto

RESUMEN.

Teniendo en cuenta que existen alrededor de 650 especies de Eucalipto, se optó por estudiar 3 especies en la investigación; debido a su uso y facilidad de obtención. Se seleccionaron las especies de Eucalipto *E. Cinerea*, *E. Ficifolia* y *E. Grandis* y se dividieron inicialmente en dos grupos cada una de ellas; “experimentos y testigos”. Los experimentos estuvieron en contacto con la muestra de lixiviado tomada en el relleno sanitario Doña Juana y los testigos estuvieron en contacto con agua. Seguido a esto los experimentos se dividieron en 3 ensayos de la siguiente forma: Ensayo sólido, ensayo semi – líquido y ensayo líquido; en los cuales se varió el material de soporte de los árboles.

Con este diseño experimental se empezó con un periodo de toma de datos y observaciones; donde se evaluó el comportamiento del peso de todos los experimentos y testigos. Estos datos posteriormente fueron sometidos a un análisis estadístico de varianza y pruebas de comparaciones para detectar las similitudes entre los ensayos y entre las especies empleadas.

Terminada la etapa de invernadero, se procedió a realizar una caracterización de metales en el tejido vegetal (hojas, tallo, y raíz) de los experimentos y sus testigos correspondientes, que mostraron el menor grado de stress, con el fin de determinar si fueron absorbidos por los árboles y si fueron aportados por la muestra de lixiviado.

Palabras clave: lixiviado, absorción, experimento, ensayo.

ABSTRACT

Taking in to account that exist about 650 species of eucalyptus, there were chosen 3 species in the research, due to their use and facility of obtaining. The species *E. Cinerea*, *E. Ficifolia* and *E. Grandis* were selected, and each one of them was separated in two groups “ experiments and witnesses”. The experiments were in touch with the sample of leachate that was taken in the sanitary landfill Doña Juana and the witnesses were in touch with water. After this, the experiments were divided in two tests as follow: solid Test, semi – liquid test and liquid test ; In which the support material of the trees was changed.

The experimental design started with a capture period of information and observations; Where there was evaluated the weight behavior of all the experiments and witnesses. This information was analysed statistically, using variance analysis and comparison proofs, in order to determine the similarities between the tests and the species.

Finished the greenhouse stage, there was made a metal characterization in the vegetable tissue (leaves, stem and root) of the experiments and their corresponding witnesses, who showed the minor degree of stress, in order to determine if they were absorbed by the trees and if they were contributed by the sample of leachate.

Key words: leachate, absorption, experiment, tests.

JUSTIFICACION.

Especies vegetales como el Eucalipto son de gran utilidad en terrenos muy húmedos, debido a su capacidad de absorción de agua y su rápido crecimiento. Sin embargo puede ser una especie indeseable en la agricultura por su aparente efecto desecante y de absorción de los minerales del suelo.

Por estas razones y por ser una alternativa económica se considera una especie que podría ser útil en la reducción de volumen de lixiviados generados en los rellenos sanitarios, otra opción de uso del Eucalipto como mecanismo depurador, debido a que de la misma forma que es capaz de absorber minerales del suelo, se contempla la posibilidad de que pueda capturar contaminantes sin que se produzca algún tipo de deterioro o la muerte del árbol.

Lo que creó la hipótesis planteada para el presente trabajo, fue la creencia popular y personal, que los Eucaliptos secan el suelo donde están plantados por su alto grado de absorción de agua; y de dos preguntas básicas ¿El Eucalipto lograría absorber el lixiviado? Y ¿los árboles soportan estar en contacto con el lixiviado?.

Al finalizar la investigación si se obtiene un resultado positivo se podría contemplar la posibilidad de complementar un sistema de tratamiento de lixiviados, o examinar la posibilidad en una nueva investigación, de realizar el diseño de un sistema natural de reducción del volumen de lixiviado, en la cual además de los beneficios económicos, no se requeriría el empleo de energía, la cual es de gran impacto para los recursos naturales.

LIMITACIONES.

Durante el desarrollo de la investigación se pueden citar como limitaciones:

El espacio reducido en el que se construyó el invernadero, lo que tuvo como consecuencia el confinamiento de los árboles y que no se pudiera simular mejor las condiciones naturales de las especies; en la fase de toma de datos y observaciones no se realizó la medición del peso con una balanza adecuada debido a que el peso de los experimentos superaba el peso máximo de las balanzas disponibles en el laboratorio de la facultad.

En cuanto a la realización de las practicas de laboratorio el limitante principal fue el costo de las pruebas a realizar, lo cual condujo a descartar caracterizaciones de la muestra de lixiviado que se agregó a los experimentos, así como del agua que se agregaba a los testigos; otro análisis que dejo de hacerse fue el microbiológico de la asociación mutualista entre las raíces y ciertos hongos del suelo (mícoorrizas).

Finalmente la bibliografía encontrada, referente a la especie Eucalipto es muy general y no contempla requerimientos específicos (nutricionales), para comparar con los resultados de la investigación; y así mismo la información muy difícil de encontrar.

INTRODUCCIÓN.

Las técnicas de fitoremediación en aguas residuales y fitoabsorción de contaminantes en el suelo, tienen más auge cada día por su aparente facilidad tecnológica, los beneficios con respecto al costo y la efectividad de estos sistemas de tratamiento; esto se ha visto reflejado, entre otros en los proyectos que se han realizado al interior de la Universidad De La Salle.

Por su parte, del lixiviado se conoce cómo se genera, cuales son sus características, como se manejan dentro del relleno sanitario y como es tratado.

Esta investigación surgió inicialmente de la creencia popular que los Eucaliptos secan el suelo donde están plantados porque absorben grandes cantidades de agua; y de dos preguntas básicas ¿El Eucalipto absorbe el lixiviado?, y la segunda ¿los árboles en experimentación soportan estar en contacto con el lixiviado?.

Con el fin de dar respuesta a estas preguntas, se realizó un montaje a nivel de invernadero con tres (3) especies de Eucalipto durante veintidós (22) semanas, en las cuales se llevo un registro del cambio del peso de los experimentos y el stress que sufrieron los árboles (expresado en los cambios morfológicos), de un total 18 unidades experimentales distribuidas bajo un diseño completo al azar con 3 ensayos y sus respectivos testigos.

Finalizada la etapa de invernadero, se realizó una caracterización de metales en el tejido vegetal de dos (2) unidades experimentales, para identificar si se presentó absorción de algunos de estos elementos y si fueron aportados por la muestra de lixiviado.

Concluida la investigación se determinó que los árboles de las tres (3) especies que hicieron parte de los ensayos sin la simulación de las “condiciones naturales” adecuadas se degeneraron mas rápido que aquellas que si tenían un medio de soporte consistente la especie *E Cinerea* mostró los valores más altos de “absorción aparente”, en las hojas, mientras que la especie *E ficifolia* registró concentraciones de metales más altos en el tallo; y finalmente que la especie *E Grandis* no soporto las condiciones en el invernadero.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Determinar de forma experimental el comportamiento del Eucalipto como alternativa de absorción de lixiviados.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar los efectos que produce el lixiviado en las tres especies de Eucalipto.
- Determinar la especie de Eucalipto que genera mayor rendimiento de absorción durante el proceso.
- Determinar si existe remoción de metales en los lixiviados por medio del Eucalipto.
- Identificar si existen lugares de acumulación de contaminantes en las hojas, el tallo y las raíces de los árboles.

1. MARCO TEÓRICO.

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE VEGETAL EUCALIPTO.

1.1.2 Generalidades.

Eucalipto es el nombre común de árboles y arbustos de la familia de las Mirtáceas. Este género, formado por unas 650 especies, constituye la vegetación dominante de los bosques del oeste de Australia, cuyos árboles producen una madera muy apreciada. Los Eucaliptos se caracterizan por presentar hojas coriáceas, blancuzcas, suspendidas, con el borde orientado hacia el sol, la corteza rota en jirones y el aroma peculiar; las flores son pequeñas y presentan una tapadera cónica que se desprende en el proceso de la floración, en ese momento se despliegan los estambres. A este género pertenecen algunos de los árboles más altos que se conocen.

Muchas especies reciben el apelativo de árboles de la goma, por la exudación resinosa que producen; entre éstos se cuentan el Eucalipto común o azul y otra especie utilizada también por su madera. Hay especies llamadas cortezas de cuerda, por la naturaleza fibrosa de la corteza interna. A este grupo pertenecen también los llamados en Australia árboles de la menta.

1.1.3 Usos del Eucalipto.

Su potencial para la producción de leña es alto, dada la gran cantidad de biomasa que produce en un corto período. El potencial calorífico es promedio, es de 18390 KJ/Kg, siendo de lenta combustión y de rápido encendido. Los árboles destinados

a la producción de leña se aprovechan generalmente desde los 5 hasta los 10 años, realizando primero una tala rasa del monte y luego, el manejo de rebrotes.¹

Se ha prestado mucha atención a las posibilidades del uso de la madera de Eucaliptos para la elaboración de pasta para papel. En esta materia Australia posee una basta experiencia con notables empresas industriales, basadas fundamentalmente en sus bosques naturales, y a partir de esta experiencia se emplean ya plantaciones de Eucaliptos con estos fines en otras partes del mundo, tal es el caso de Brasil, Portugal, España, Sudáfrica, Chile, y otros más, que proveen de materia prima a la industria de la pasta.²

Es utilizado como ornamental o como especie para sombra. Produce abundante néctar y polen para la producción de miel; sus hojas poseen aceites esenciales muy empleados en la industria farmacéutica y la cosmética, también es recomendado para la obtención de chapas y contrachapado, así como parquet y cajones para frutas.

La gama de compuestos químicos que pueden ser obtenidos está basada en la estructura ligno-celulósica de estos materiales, y en especial de la madera. Y de esta se pueden obtener productos empleados en: Levaduras para producción de vitaminas, proteínas, y grasas; furfural para la producción de plásticos, solventes e intermediarios químicos, Xilosa ,Celulosa, Alcoholes (etílico, butílico, isopropílico), Polioles (glicerol, etilen-glicol, anticongelante, propilen-glicol), Cetonas (acetona para hacer explosivos, esmalte para uñas, y muchos otros productos),ácidos (acético, láctico, butírico), Intermediarios químicos (Hidroximetil furfural, ácido levulínico),lignina, mezclas de compuestos fenólicos (para la producción de

¹EL EUCALIPTO EN LA REPOBLACIÓN FORESTAL. Colección FAO Montes No. 11. FAO, Roma. DISPONIBLE EN <http://www.fao.org/docrep/005/y7605s/y765s03.htm#fn2>

² EL EUCALIPTO. USOS EN AMERICA disponible en <http://www.galeon.com/tigre/textos/flora/eucalipto.htm>

adhesivos sintéticos), benceno y otros compuestos aromáticos (para la producción de solventes, tintes, y otros compuestos.) entre otros usos.

1.1.4 Especies empleadas durante la investigación.

1.1.4.1 *Eucalyptus Cinerea*. Árbol de porte mediano, 10- 20 m, de tronco no siempre derecho, fruto mediano a largo, y copa cilíndrica, angosta; la corteza es persistente, fibrosa, hendida, de color rosado-morado. Las hojas jóvenes son opuestas no pecioladas, redondeadas y pequeñas, de 3 a 4 mm por 4 a 6 mm.³

Por su follaje, es uno de los Eucaliptos más vistosos, combinando estupendamente en áreas verdes con ejemplares vegetales de hojas verde oscuro o rojizo. Su corteza adquiere tonalidades naranjas, y es también muy atractiva.

1.1.4.2 *Eucalyptus ficifolia*. Es un árbol pequeño que no llega a 20 m. su corteza es oscura y estriada, las hojas son ovo-lanceoladas, firmes y gruesas; las grandes flores son rojas o cambian del rosado, al carmesí y al escarlata y se agrupan en cuajados racimos, en las puntas de las ramas; el fruto tiene forma de urna de 2 a 4 cm de ancho. Las semillas son de color castaño claro, casi rojo, con apéndice foliáceo, en un extremo.⁴

Se adapta perfectamente en las tierras costaneras, calidas y tolera perfectamente la sequía. Esta es una planta especialmente empleada para decorar las avenidas, tanto por su hermoso aspecto y tupida sombra, como por sus flores profusas y de brillantes colores.⁵

³ COZZO. Domingo. Eucalyptus y Eucaliptotecnia. 3ed Buenos Aires, Argentina: El Ateneo, 1955 p.96

⁴ PULGAR. Javier. El eucalipto. 2 ed. Bogotá Colombia: Ministerio de agricultura. 1955. p. 73

⁵ Ibid., p 74

1.1.4.3 *Eucalyptus Grandis*. Es un árbol alto que mide entre 25- 50 m, de gran desarrollo con tronco grueso; la corteza es caduca clara, dejando al descubierto, al desprenderse, la epidermis, nueva, blanca y lisa. Las hojas jóvenes son alternas cortamente pecioladas, oblongo-lanceoladas de bordes ondulados y cortas, con 3 a 6 cm por 1 a 3 cm; las adultas son alternas pecioladas lanceoladas, onduladas, de 13 a 20 cm por 2 a 4 cm. Inflorescencias con umbelas axilares, con pedúnculo ligeramente comprimido de 3 a 10 flores; botones sin pedicelo, pequeños, glaucos, con opérculos pequeños cónicos. Frutos escasamente pericelados, de receptáculos ovoides con 6 a 8 mm; valvas a veces exertas.⁶

Esta especie crece en Nueva Gales de sur y en Queensland a lo largo de los ríos, formando asociaciones bastante puras; también en planicies aluvionales.⁷ Crece fácilmente en los suelos pobres de los climas cálidos y templados⁸

Su crecimiento se da en suelos ricos, húmidos, pero con buen drenaje; no soporta los muy saturados. La madera es de buena calidad y de color rosado, semidura, semipesada. De limitada duración y poco resistente. De grano derecho, fácil de trabajar. Sin veteado demarcado. Es indicado para cajonería, pasta de papel, mueblería, terciados.⁹

Por su rápido y notable crecimiento esta especie es de una intensa aplicación en los países tropicales, estando hoy colocada en primer lugar, seguida por la especie *saligna* y *citriodora*; termino medio, crece a razón de 2 metros de altura y 2 cm de diámetro anualmente.

⁶ Op. Cit COZZO. P.94

⁷ Ibid.

⁸ Op. Cit PULGAR. P 86

⁹ Op. Cit COZZO. P 95

1.2 LIXIVIADO.

Los lixiviados se generan principalmente por la percolación de las aguas meteóricas a través de las masas de residuos, sin embargo los residuos pueden contener cantidades de agua suficientes para generar lixiviados, aun sin la entrada de aguas meteóricas. Cuanto mas agua percole a través de los desechos, mayor será la cantidad de lixiviado generado, pero también esto traerá consigo una mayor dilución de los contaminantes en el lixiviado.¹⁰

1.2.1 Composición de los lixiviados.

Los lixiviados contienen en su mayoría los metabolitos solubles de la actividad bacteriana, los cuales constituyen un conjunto de sustancias disueltas o arrastradas que pueden reaccionar entre ellas. Las sustancias que se han encontrado en los lixiviados pueden ser reagrupadas en varias clases:

- La fracción mineral está especialmente constituida esencialmente de cloruros, hidrogeno-carbonatos, nitratos iones de amonio, sodio, potasio y de ciertas sales metálicas. Estas sales inorgánicas provienen, por un lado, de la mineralización biológica de los residuos cuando los lixiviados se encuentran en condiciones aerobias.
- La fracción orgánica fácilmente biodegradable: los ácidos grasos volátiles representan generalmente la mayor parte de la carga orgánica en el caso de sitios jóvenes de disposición final.
- La fracción orgánica “estabilizada”, constituida por compuestos fúlvicos y húmicos, las cuales son moléculas orgánicas complejas de origen natural muy poco biodegradables.

¹⁰ ROBLES, Fabián et al. Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios. Instituto politécnico nacional, 2005 p 65.

- La fracción orgánica xenobiótica, constituida principalmente de compuestos sintetizados por el hombre.

Tabla 1. Composición estándar de una muestra de lixiviado.

PARÁMETRO.	INTERVALO DE (g/L SALVO OTRA INDICACIÓN)
pH	3.7 – 8.5
Conductividad ($\mu\text{s/cm}$)	2810-16800
DQO (gO_2/L)	0.04 – 89.5
DBO (gO_2/L)	0.04 – 33.4
Materia seca (total)	0 – 59.2
Dureza (CaCO_3)	0 – 22.8
Fosfato (total)	0 – 0.13
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0 – 1.1
$(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) - \text{N}$	$2 \times 10^{-4} - 0.01$
Ca	0.05 – 7.2
Na	0 – 7.7
K	0.028 – 3.77
Mn	$9 \times 10^{-5} - 0.0125$
Mg	0.017 – 15.6
Fe	0 -2.82
Zn	0 – 0.037
Cu	$0 - 9.9 \times 10^{-3}$
Cd	$< 3 \times 10^{-5} - 1.7 \times 10^{-2}$
Pb	$< 1 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-3}$
Cloruros	$4.7 \times 10^{-3} - 2.467$
Sulfatos	1.10 – 1.558

Fuente. ROBLES, Fabián 2005

1.2.1.1 Variaciones en la composición de los lixiviados. Hay que resaltar que la composición química de los lixiviados variará mucho según la antigüedad del relleno sanitario y la historia previa al momento del muestreo. Por ejemplo, si se recoge una muestra de los lixiviados durante la fase ácida de la descomposición, el pH será bajo y las concentraciones de DBO_5 , COT, DQO, nutrientes y metales pesados serán altas. Por otro lado, si se recoge una muestra de los lixiviados durante la fase de fermentación del metano, el pH estará dentro del rango de 6.5 a 7.5, y los valores de concentración de DBO_5 , COT, DQO y de los nutrientes serán

significativamente más bajos. Similarmente, serán mas bajas las concentraciones de metales pesados por que la mayoría de los metales son menos solubles para valores de pH neutros. El pH del lixiviado dependerá no solamente de la concentración de los ácidos que están presentes, si no también de la presión parcial del CO₂ en el gas de vertedero que esta en contacto con el lixiviado.¹¹

1.2.3 Efectos del lixiviado.

El agua proveniente del los rellenos sanitarios y la contaminación que ella contiene, constituyen el primer factor de impacto de un sitio de disposición final sobre el medio exterior (terrenos adyacentes, mantos freáticos, ríos, lagos etcétera). Dicha agua es el medio de solubilización de los contaminantes, el vector físico de la dispersión y del transporte de los contaminantes hacia el medio, además de favorecer también la actividad microbiana. La migración incontrolada de los lixiviados puede contaminar aguas subterráneas y superficiales.

1.2.3.1 Efectos a corto plazo. Los efectos a corto plazo por contaminación de lixiviados en las aguas superficiales y subterráneas dependen de su concentración y de las características del medio receptor (pH, temperatura, alcalinidad, etc).

Los efectos tóxicos inmediatos pueden estar ligados a una modificación del pH del medio receptor. De esta forma, un medio ácido favorece la toxicidad de los sulfuros o de los ácidos presentes en el lixiviado por otra parte, la conductividad de los lixiviados se eleva debido al aumento de la salinidad del medio; que es por lo general ocasionada por los cloruros y puede ser perjudicial para los organismos de agua dulce.

Adicionalmente el aporte de materia orgánica puede traducirse en efectos tóxicos, como: el desarrollo de bacterias y hongos, los cuales pueden disminuir la tasa de

¹¹ TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. 2 ed. Madrid España: Mc Graw Hill, 1994. p 471

oxígeno disuelto y provocar alteraciones en los ecosistemas acuáticos que se puede agravar por la aportación de Nitrógeno en forma de amoníaco lo que aporta nutrientes suplementarios que permiten el crecimiento de plantas acuáticas y por consiguiente favorecen la eutrofización en los cuerpos de agua. Además la toxicidad dada por los metales presentes en los lixiviados depende de su especiación de la presencia de ligandos y de otros metales en el lixiviado y en el medio receptor, así como de las condiciones fisicoquímicas del medio.¹²

1.2.3.2 Efectos a largo plazo. Los efectos a largo plazo dependen de la capacidad del medio para oxidar el amoníaco en nitratos y degradar materia orgánica, pero también de la presencia de sustancias que pueden acumularse en las cadenas tróficas (metales pesados, compuestos orgánicos recalcitrantes).

La modificación del pH y del efecto amortiguador del medio puede verse al continuo aporte de lixiviados alcalinos o ácidos. Los lixiviados alcalinos ricos en amoníaco pueden conducir a la presencia de NH_3 no ionizado los cuales son perjudiciales para la vida acuática. La contaminación crónica a largo plazo se traduce a cambios sutiles de flora y fauna en los sitios aledaños del sitio de disposición final, estos cambios son el resultado de la lenta introducción de contaminantes al ambiente y de su acumulación en los sedimentos o los organismos vivos. Aunque los efectos de esta toxicidad crónica sean difícilmente observables.

Aunque existen trabajos que señalan el efecto nocivo de los lixiviados, hay quienes afirman que el poder contaminante de éstos, puede ser fuertemente atenuado en el subsuelo (en ciertos casos eliminado) antes que alcancen los mantos acuíferos.¹³

¹² ROBLES, Op.Cit, p74

¹³ GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios Avances recientes. Revista de ingeniería Universidad de los Andes. Bogota Colombia. Nov 2001 # 14. p47

1.2.3 Control de la lixiviación.

Mientras el lixiviado se filtra a través del estrato inferior, se separan muchos de los constituyentes químicos y biológicos originalmente contenidos en él, mediante la acción filtrante y absorbente del material que compone el estrato. Por lo general, la amplitud de esta acción depende de las características del suelo, especialmente del contenido de arcilla. Por el riesgo potencial que implica el permitir que se filtre el lixiviado hasta el agua subterránea, la mejor práctica exige su eliminación o contención.¹⁴

Actualmente se utilizan, por lo general, materiales aislantes de vertederos para limitar o eliminar el movimiento de lixiviado fuera de la zona del vertedero. Hasta la fecha el uso de arcilla como material de aislamiento ha sido el método más utilizado para reducir o eliminar la filtración del lixiviado fuera de los vertederos. La arcilla es factible por su facilidad de absorber y retener muchos de los constituyentes encontrados en el lixiviado, y por su resistencia al flujo de lixiviado.¹⁵

1.2.4 Alternativas de tratamiento.

Las alternativas de tratamiento de lixiviados se puede categorizar de acuerdo a varias características como por ejemplo de acuerdo a los niveles de tratamiento que se logren con cada una de ellas, o por el tipo de contaminación que puedan remover.¹⁶

1.2.4.1 Procesos anaerobios. Para el caso de un lixiviado joven, en especial lixiviados de rellenos con altos contenidos de materia orgánica fácilmente biodegradable, los consecuentes altos contenidos de materia orgánica parecerán idealmente apropiados para la aplicación de un sistema de tratamiento anaerobio,

¹⁴ TCHOBANOGLOUS, Op,Cit., p 485.

¹⁵ Ibid.

¹⁶ GIRALDO,Op, Cit.,

desde simples lagunas anaerobias, hasta complicados sistemas de lecho fluidizado, pasando por filtros anaerobios y reactores UASB.

Las ventajas que tienen los procesos anaerobios en este contexto son la mayor simplicidad en el sistema de tratamiento y la menor producción de lodos, lo que se refleja en menores costos de inversión, operación, requisitos técnicos, mantenimiento y personal.

Sin embargo, existen varias preocupaciones que hay que tener en cuenta al aplicar este tipo de procesos. Los altos contenidos de amoníaco y de minerales disueltos que pueden generar problemas de toxicidad para los microorganismos. Esto implicaría una remoción previa del amoníaco o la aplicación de cargas de trabajo reducidas debido a las limitaciones en la actividad microbiana.

En conclusión es necesario bien sea hacer pre-tratamientos que minimicen los efectos de toxicidad y/o de los materiales incrustantes, o, trabajar con diseños de reactores que sean mas resistentes a estos fenómenos.

1.2.4.2 Procesos aerobios. Estos son utilizados cuando se requiere obtener una baja concentración de DBO en los efluentes, aunque las remociones de este sean superiores al 90% aun el remanente puede ser alto debido a que este parámetro es usualmente alto en el lixiviado. Los costos de inversión, operación y mantenimiento son significativamente mas altos a los de los procesos anaerobios cuando se trata de un lixiviado joven.

En los reportes operativos se mencionan problemas con la generación de espumas, con la precipitación de hierro, y en el caso de los lodos activados, problemas para aceptar las variaciones en las cargas hidráulicas y orgánicas, lo

que puede implicar que los sistemas requieran tanques de ecualización de caudales como parte del tratamiento.¹⁷

1.2.4.3 Sistemas Naturales. Estos tienen como ventaja la simplicidad en su operación y la posibilidad de lograr diferentes niveles de tratamiento, desde un pre-tratamiento, hasta un tratamiento terciario en caso de necesitarse. La combinación de las lagunas y los humedales puede manejar adecuadamente muchos de los problemas que en otras tecnologías aparecen como son la acumulación de precipitados, la formación de espumas, la toxicidad a los microorganismos, y las variaciones en cargas hidráulicas orgánicas.

La combinación de las lagunas y los humedales puede manejar adecuadamente muchos de los problemas que en otras tecnologías aparecen como son la acumulación de precipitados, la formación de espumas, la toxicidad a los microorganismos y las variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas. Desde el punto de costos en valor presente la tecnología ha probado ser muy competitiva al compararse con otras alternativas. En aplicaciones en donde el costo de la tierra no es muy alto, o donde las zonas de amortiguamiento del relleno sanitario se pueden usar en el proceso la tecnología presenta costos de inversión inicial substancialmente menores que otras tecnologías.

La principal desventaja que se tiene con estos sistemas es la cantidad de terreno que requiere para localizar los procesos, sin embargo, por la naturaleza misma de los diseños en los rellenos sanitarios, en donde hay necesidad de tener áreas de amortiguamiento visual, de ruido y de olores, estas áreas que usualmente están localizadas en los alrededores del relleno podrían utilizarse como parte de los sistemas de tratamiento; en especial en el caso de los humedales.

¹⁷ GIRALDO, Op, Cit., P 48

1.2.4.3 Evaporación. La utilización de la evaporación como sistema de tratamiento de lixiviados es una aplicación nueva al igual que los humedales. En ella se utiliza la energía que se tiene en el biogás del relleno sanitario en evaporar el lixiviado por calentamiento. Existen varios tipos de tecnología ya desarrolladas para lograr el objetivo. Las tecnologías existentes permiten el lograr el control del total de emisiones de lixiviados del relleno sanitario, quedando un lodo que se dispone nuevamente en el relleno. La experiencia y los cálculos de producciones de gas y lixiviados en los rellenos sanitarios indican que se tiene gas en exceso para suplir las necesidades energéticas de evaporación del lixiviado. Dependiendo del tipo de lixiviado en algunos casos existe la necesidad de hacer un pos quemado de la mezcla gas-vapor de agua que sale del evaporador para lograr la destrucción de emisiones de COVs que se arrastran durante el proceso de evaporación, de tal manera que la cantidad requerida de biogás se aumenta con respecto a los cálculos termodinámicos normales. Sin embargo, una vez quemados los COVs las emisiones del proceso se limitan a vapor de agua y aun lodo espesado.

Los problemas generados por la tecnología de la evaporación son similares a los de otras tecnologías como es el caso de la formación de espumas por la turbulencia generada en el proceso de evaporación, el incrustamiento de precipitados en el sistema y el arrastre de COVs. Igualmente cuando los lixiviados son jóvenes y existen altas concentraciones de ácido grasos volátiles y amoníaco, y dependiendo al pH al cual se realiza la evaporación, esos compuestos se pueden arrastrar junto con el vapor de agua. En algunos casos se puede realizar ajustes de pH para minimizar el arrastre de los ácidos y el amoníaco. En otros casos se han propuesto sistemas de evaporación múltiple que en una etapa se controlan las emisiones del amoníaco, mientras que en otras las emisiones de ácidos grasos.¹⁸

¹⁸ GIRALDO, Op, Cit., P 49

1.2.4.4 Recirculación de los lixiviados. Con esta tecnología se pretende utilizar el relleno sanitario como un gran reactor anaerobio de tal manera que dentro del mismo relleno se logra la conversión a metano de los ácidos grasos que están presentes en el lixiviado. Al recircular los lixiviados se logra un aumento en la humedad de los residuos dispuestos, que a su vez genera un aumento de la producción de gas metano en el relleno. Una vez los ácidos grasos han sido metanizados, el pH del lixiviado aumenta, y al aumentar el pH la solubilidad de los metales disminuye de tal forma que se logra una disminución de los metales en solución que son transportados por el lixiviado. De esta manera se logra una reducción significativa de la DBO como de los metales que finalmente arrastra el lixiviado. Usualmente se considera que el nivel de tratamiento alcanzado es el de pretratamiento, siendo necesario algún tipo de tratamiento posterior que dependerá de los requisitos de los permisos de vertimiento en cada caso. Las experiencias indican que entre 3 y 10 años se debe recircular un lixiviado para generar los efectos de tratamiento requeridos.¹⁹

A la recirculación de lixiviados con frecuencia se le imputan otros beneficios adicionales a su efecto en el pre-tratamiento de los lixiviados como son: aumento en las tasas de producción de biogás en el relleno sanitario, maximización de la producción de gas por tonelada de residuo dispuesta, aumento en la tasa de estabilización de asentamientos en el relleno. Esta última a su vez genera ventajas como son el aumento de la capacidad del relleno por la ganancia asociada de volumen, y la disminución en las actividades de post clausura del relleno.

Debido al aumento de la humedad y la tasa de generación de gas, la recirculación de lixiviados en el relleno sanitario puede generar aumento significativo de las presiones internas de los fluidos, gases y líquidos que comprometan la estabilidad estructural de los taludes. Este efecto puede ser más notorio en los residuos húmedos de países en desarrollo que en los secos de los países desarrollados.

¹⁹ GIRALDO, Op, Cit., P 50

Es necesario mirar con cuidado los aspectos de seguridad geotécnica en los rellenos sanitarios cuando se considere el uso de la recirculación de lixiviado como un modo de pre-tratamiento. Esto implica cuidados especiales en términos de instrumentación geotécnica del relleno y en los sistemas de drenaje y evacuación de líquidos y gases.

1.2.4.5 Sistemas de membranas. Se encuentra en la literatura aplicaciones de la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración, la osmosis inversa, la osmosis directa, inclusive la preevaporación al tratamiento de los lixiviados, bien sea de manera directa, o acoplada a otro tipo de sistema de tratamiento. Por ejemplo, se observa que tanto como la microfiltración como la ultrafiltración se han acoplado a procesos biológicos de tratamiento aerobio, en reemplazo de los sedimentadores, tanto para la remoción de DBO, como para la nitrificación del amoníaco. Igualmente se encuentran reportes de la aplicación en serie de procesos de osmosis inversa con procesos de precipitación- cristalización y nanofiltración para la remoción de sustancias precipitables de lixiviados con alto contenido de sólidos disueltos inorgánicos.²⁰

- Biorreactores con membrana (MBR). Los biorreactores con membrana se utilizan de la misma manera como se utilizan los sistemas biológicos de tratamiento, siendo la principal diferencia la sustitución del sedimentador como sistema de separación sólido-Líquido por un sistema de micro o ultrafiltración. Esto puede tener ventajas en términos de la disminución del tanque del reactor biológico, más sin embargo, introduce complicaciones adicionales en la operación de los sistemas ya que los módulos de membranas son más complicados de operar. Igualmente se logran aumentos significativos en la cantidad de biomasa que se tiene en los reactores, pero al mismo tiempo se

²⁰ GIRALDO, Op, Cit., P 50

puede perder eficiencia en la transferencia de masa en la aireación, aumentando los costos de energía.²¹

Igualmente se reportan disminuciones en el fluido a través de la membrana por procesos de taponamiento. Es necesario considerar dentro de la selección de la tecnología la garantía de un suministro adecuado de reemplazo de membranas, al igual que incluir estos costos extras en los análisis financieros. Las eficiencias que se han reportado para las aplicaciones en las cuales se utiliza el proceso biológico para la oxidación de amoníaco, como en aquellas en las cuales se busca remover la DBO son excelentes siendo esta su principal ventaja.

- Osmosis inversa. En general se reportan excelentes rendimientos en la tecnología para la remoción de la mayoría de los contaminantes. Igualmente se observa que las aplicaciones han sido para lixiviados con concentraciones de DBO relativamente bajas, menores a 1000 mg/L, es decir lixiviados maduros, a los cuales se les ha realizado un pretratamiento. Se habla de concentraciones relativamente bajas porque entre el rango de DBO de los lixiviados estos valores son de 10 a 40 veces más concentrados que los que se reportan en la literatura técnica. Se debe tener entonces cautela en la aplicación de la tecnología de manera directa en los lixiviados jóvenes. Otra ventaja que se reporta con frecuencia en el caso de la osmosis inversa son los bajos consumos energéticos que requiere la tecnología cuando se comparan con tecnologías como la oxidación biológica o la evaporación.²²

Se han reportado problemas de colmatación asociados a la precipitación del calcio y el hierro en las membranas, obligando a la incorporación de sistemas de pretratamiento que minimicen estos efectos. Esto se ha logrado de diversas

²¹ GIRALDO, Op, Cit., P 51

²² GIRALDO, Op, Cit., P 51

maneras, desde la aplicación de sustancias químicas que modifiquen las condiciones bajo las cuales ocurre la precipitación hasta la incorporación de nuevos procesos. Igualmente se ha reportado una disminución significativa del flux a través de la membrana con el aumento de la concentración de DBO en el lixiviado.

La tecnología es intensiva en cuanto a la operación y mantenimiento necesario, por la necesidad de hacer lavados, limpiezas y reemplaces de las membranas, consideración que debe tenerse en cuenta en el momento de seleccionar la tecnología.

1.3 MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES.²³

Todas las plantas necesitan tomar del suelo 13 elementos minerales. Son los nutrientes minerales esenciales. De tal manera que si en un suelo no hubiese nada, de cualquiera de ellos, la planta moriría, puesto todos son imprescindibles.

Afortunadamente, en los suelos siempre existe gran variedad de elementos, aunque en unos más que en otros. No obstante, se pueden presentar carencias. Un ejemplo muy típico es el del Hierro (Fe). En suelos de pH alto, es decir alcalinos (calizos) es frecuente que falte el Hierro que se encuentra insolubilizado, es decir, se encuentra como mineral que no puede ser tomado por las raíces. En plantas que son sensibles a la carencia de hierro la consecuencia de esto es que se vuelven las hojas amarillas. Por ejemplo una Azalea, una Hortensia, un Naranja, un Roble, etc. plantados en estos suelos sufrirán clorosis férrica.

Son macroelementos: Nitrógeno(N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre(S). Y los micronutrientes u oligoelementos son los que

²³ Contenido de nutrientes minerales del suelo [on line] disponible en. <http://www.infojardin.com/articulos/Nutrientes.htm> p1

toman las plantas en pequeñísimas cantidades y se citan Hierro (Fe) Zinc (Zn) Manganeso (Mn)Boro (B) Cobre (Cu)Molibdeno (Mo) Cloro (Cl)

1.3.1 Efectos de los nutrientes en las plantas.²⁴

Calcio (Ca).La deficiencia de calcio está generalmente asociada a efectos de acidez del suelo y muchas veces es difícil diferenciar una de la otra. El calcio se absorbe como el catión divalente Ca^{2+} y es casi inmóvil y es por esto que las deficiencias se observan primeramente en los tejidos jóvenes. Las deficiencias de calcio parecen tener dos efectos en la planta: causan una atrofia del sistema radical y le dan una apariencia característica a la hoja. Las hojas se muestran cloróticas, enrolladas y rizadas.

Cinc (Zn).Los primeros síntomas de deficiencia de Zn observados en el campo son la hoja pequeña y en roseta de los árboles frutales, lo que resulta en la reducción en tamaño de las hojas y de la longitud de los entrenudos. El pino de Monterrey de Australia presenta un síntoma bien definido de esta deficiencia, la que consiste en el tope aplastado. Dependiendo del cultivo, el trastorno se denomina con media docena de nombres diferentes, tales como la yema blanca (en el maíz y el sorgo), hoja moteada y la hoja falcada (cacao). Los síntomas de deficiencia en maíz incluyen la clorosis y el achaparrado de las plantas; también las hojas de los nuevos brotes muestran unas bandas amarillas a blancuzcas en la parte inferior de las hojas

Cobre (Cu).Las plantas presentan muy raramente deficiencias de cobre, ya que este elemento se encuentra disponible en casi todos los suelos, las deficiencias de

²⁴HERNÁNDEZ, Rubén. Nutrición mineral de las plantas, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes - Mérida – Venezuela [on line] disponible en <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>

cobre son conocidas más que todo a partir de estudios en cultivos hidropónicos. En la deficiencia de Cu las hojas jóvenes se colorean de verde oscuro, se doblan y adquieren malas formas, algunas veces muestran manchas necróticas

Hierro (Fe). El efecto más característico de la deficiencia de hierro es la incapacidad de las hojas jóvenes para sintetizar clorofila, tornándose cloróticas, y algunas veces de color blanco. El hierro es virtualmente inmóvil en la planta, quizás porque es precipitado como un óxido insoluble o en las formas de fosfatos férricos inorgánicos y orgánicos. La entrada de hierro en la corriente floemática es disminuida probablemente por la formación de esos compuestos insolubles.

Magnesio (Mn).La deficiencia de este elemento ocurre comúnmente en suelos ácidos, arenosos, en áreas de precipitación moderada a alta. La ausencia de Mg^{2+} se caracteriza por una clorosis en hojas viejas, principalmente entre las nervaduras. En algunas plantas la ausencia de clorofila es seguida por la aparición de otros pigmentos.

Manganeso (Mn).Las deficiencias de Mn son más comunes en suelos orgánicos que en inorgánicos. Los síntomas de deficiencia de Mn pueden ocurrir tanto en hojas jóvenes como en hojas viejas y comprenden una amplia variedad de formas cloróticas y manchas necróticas. Los síntomas iniciales son frecuentemente una clorosis entre las venas, tanto en hojas jóvenes como viejas, dependiendo de las especies, seguida de lesiones necróticas.

Potasio (K).Se observan signos de carencia de K^+ , si se utilizan fertilizantes con Nitrógeno y Fósforo, produciéndose la muerte prematura de las hojas. Así como el Nitrógeno y el Fósforo, el Potasio se traslada de los órganos maduros hacia los jóvenes; de tal forma que la deficiencia de este elemento se observa primero como un amarillamiento ligero en hojas viejas.

2. DISEÑO METODOLÓGICO.

Para el desarrollo del estudio experimental del comportamiento de tres especies de Eucalipto como alternativa de absorción de lixiviados, fueron tomados en cuenta los parámetros relacionados al muestreo de lixiviados, las especies utilizadas, el proceso de toma de datos y observaciones, el estudio en el laboratorio.

2.1 MUESTRA DE LIXIVIADO.

La muestra que se empleó para el desarrollo de la investigación es la que corresponde a la zona siete (7) del relleno sanitario Doña Juana; la cual fue clausurada en el año 2002 y a la zona ocho (8) que se encuentra actualmente en uso, lo que resulta en tener una muestra de lixiviado con características mixtas; es decir con características de composición de un lixiviado proveniente de un relleno maduro y de un relleno nuevo.

El muestreo se realizó durante dos sesiones con la finalidad de tener una muestra representativa de dos épocas, una seca y una lluviosa. Las muestras fueron tomadas el 10 de Septiembre del 2005 y el 15 de Octubre del 2005 respectivamente.

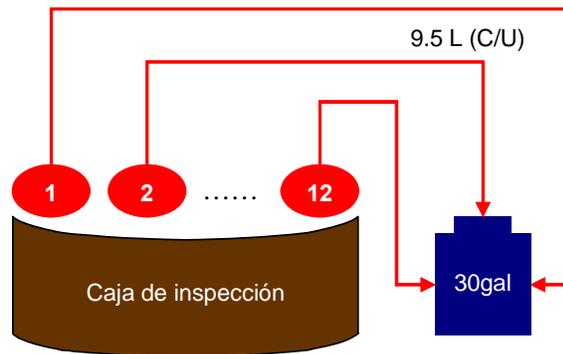
Figura 1. Toma de muestra de lixiviado.



Fuente. El autor, 2005

2.1.1 Metodología de muestreo. Se tomaron 12 alícuotas de 9.5 litros cada 15 minutos para alcanzar un volumen de 30 galones por sesión. Posteriormente estas fueron mezcladas en proporciones iguales en un nuevo contenedor y el contenido de este fue empleado para la investigación. Las muestras fueron tomadas de 7:00 AM a 10:00 AM.

Figura 2. Metodología de muestreo por sesión.



Fuente. El autor, 2006

2.2 SELECCIÓN DE ESPECIES DE EUCALIPTO.

Los criterios para escoger las tres especies empleadas durante la evaluación fueron los siguientes: la disponibilidad de los árboles, el precio y su uso. De esta manera fueron escogidas las especies que se citan en la tabla 2.

Tabla 2. Identificación de las especies empleadas en la investigación

IDENTIFICACION.	NOMBRE CIENTIFICO.	NOMBRE COMUN.
Especie A.	<i>Eucalyptus Grandis.</i>	Eucalipta.
Especie B.	<i>Eucalyptus Cinerea.</i>	Baby blue.
Especie C.	<i>Eucalyptus Ficifolia.</i>	Pomarosa.

Fuente. El autor, 2006

En la figura 3 se observan las especies A, B y C de derecha a izquierda respectivamente.

Figura 3. Especies empleadas para la investigación



Fuente. El autor, 2006

2.3 FASE EXPERIMENTAL.

2.3.1 Características morfológicas.

Se realizaron caracterizaciones morfológicas en todos los árboles con el fin de estimar, si se presentó crecimiento o cambios en los Eucaliptos durante el desarrollo de la evaluación, para determinar si se podía atribuir algún cambio corporal al contacto con el lixiviado. Se tomaron medidas iniciales y periódicas de:

- Altura.
- Diámetro del tallo.
- Número de ramas
- Número de hojas.
- Peso del árbol.

2.3.2 Pesaje del lixiviado.

Por sus características cromáticas el lixiviado es difícil de aforar volúmetricamente; por lo tanto la medición de este se realizó con base en el peso; el cual se determinó pesando el lixiviado en un contenedor de plástico (previamente pesado).

Para la investigación se realizaron tres ensayos por especie como se explica en la figura 4. De igual manera se emplearon árboles testigo que fueron tratados en las mismas proporciones de medio de soporte, pero en lugar de estar en contacto con lixiviado, lo estuvieron con agua.

Figura 4. Ensayos propuestos para la investigación.



Fuente. El autor, 2006

La finalidad de estos ensayos fue determinar si los árboles en contacto con la muestra de lixiviado y los testigos lograban soportar condiciones que no fueran naturales para estas especies de árbol (ensayo semi-líquido y líquido) mientras que en el ensayo sólido se procuró mantener las “condiciones naturales” (con suelo) de los árboles.

2.3.3 Siembra de los árboles.

El medio de soporte empleado para los ensayos semilíquido y sólido fue tierra negra previamente homogenizada, desecada al sol y pesada; mientras que el montaje del ensayo líquido se realizó sin medio de soporte; de tal manera que solo estuvieron en contacto las raíces del árbol con la muestra de lixiviado y agua respectivamente en los testigos. Se sembró sólo un árbol por contenedor, para de esta manera tener las condiciones iniciales de la investigación, siguiendo los siguientes parámetros:

- **Peso inicial (PI)**

Esta variable hace referencia al peso de todos y cada uno de los árboles al inicio de la investigación. Este se fue registrado después retirar el exceso de tierra de las raíces de los árboles. En la tabla 3 están registrados los valores del peso inicial de los árboles.

Tabla 3. Peso inicial de los árboles empleados en la investigación.

	A	B	C
1	108.912 g	558.760 g	165.320 g
2	88.208	127.665	125.685
3	111.626	199.750	105.410
4	98.026	121.735	140.428
5	205.005	125.735	127.522
6	104.576	48.638	198.640

Fuente: El autor 2006

- **Adición de tierra (AT)**

Se adicionaron un total de 3700. g de tierra negra con un porcentaje de humedad aproximadamente del 0% en los experimentos A1, A4, B1, B4, que estuvieron en un medio de soporte (Ensayo sólido). Para la realización del ensayo semi-líquido, en A2, A5, B2, B5 se adicionaron 2200 g de tierra negra con porcentaje de humedad aproximadamente del 0%.

En cuanto a los experimentos de la especie C, le fueron adicionados 4700 g de tierra negra desecada al sol a los experimentos C1 y C4, y para los experimentos C2 y C5 se agregaron 3500 g de tierra. Esto fue debido a que los árboles de esta especie tenían una mayor altura en comparación con las otras dos especies.

- **Adición de lixiviado o agua. (AL/H)**

A los experimentos 1, 2 y 3 se les agregaron 1000 g de muestra de lixiviado y a los testigos 4, 5 y 6 1000 g de agua.

Conociendo estos valores se procedió a determinar las condiciones iniciales (CI) de la experimentación (ver tabla 4)

$$CI = (PI) + (PC) + (AT) + (AL/H)$$

Donde:

- (PI) Peso inicial de los árboles.
- (PC) Peso del contenedor vacío. 440.500 g
- (AT) Adición de tierra.
- (AL/H) Adición de lixiviado.

Tabla 4. Condiciones iniciales de las especies

Exp \ Esp	<i>Eucalyptus Grandis</i> (A)	<i>Eucalyptus Cinerea</i> (B)	<i>Eucalyptus Ficifolia</i> (C)
1	6950g	6400g	7875g
2	5425	4475	8375
3	3250	2350	3700
4	6950	5950	7975
5	5550	4450	8300
6	3250	2200	3750

Fuente: El autor 2006

2.3.4 Rotulación.

Los árboles fueron marcados con el fin de diferenciarlos al realizarse la prueba con especies distintas y con pesos diferentes de lixiviado; se colocaron dos rótulos, uno en el contenedor y otro en el árbol de la siguiente manera:

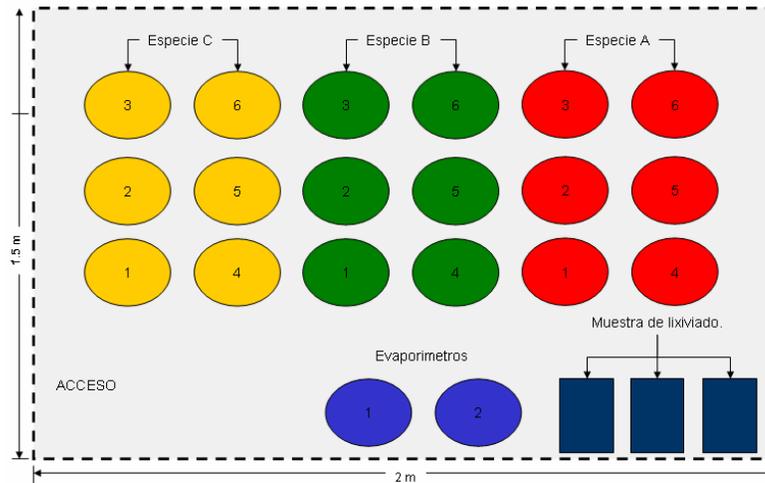
- A, B, C: Literales que identifican la especie de Eucalipto.
- 1, 2, 3, 4, 5, 6: Número que representa la prueba.

2.3.5 Invernadero.

Este fue construido en el área de “los pinos” de la Universidad De La Salle con la finalidad de acondicionar los experimentos en un ambiente mas controlado para

excluir la variable de la precipitación. En la figura 5 se observa la distribución en planta de los experimentos en el invernadero.

Figura 5. Distribución en planta de los experimentos.



Fuente. El autor, 2005

Los numerales del 1 al 6 indican el tipo de experimento de la siguiente manera: Del 1 al 3 corresponden a las plantas que estuvieron en contacto con la muestra de lixiviado; y del 4 al 6 a los testigos (están en contacto con agua).

En cuanto a las proporciones de material de soporte, se trabajó de la siguiente manera: los experimentos uno (1) y cuatro (4) corresponden al ensayo sólido, los ensayos dos (2) y cinco (5) corresponden al ensayo semi-líquido, y los experimentos tres (3) y seis (6) corresponden al ensayo líquido o sin medio de soporte.

2.3.6 Temperatura.

En todas las ocasiones en que se ejecutaba la toma de datos y observaciones, se realizó la medición de la temperatura, con la finalidad de determinar la influencia de este parámetro en el estado físico de los árboles (Ver anexo A).

2.3.7 Evaporación.

Para controlar esta variable en el invernadero se procedió a dejar dos contenedores, cada uno con una muestra de lixiviado y agua respectivamente; a los cuales les fue estimado el cambio en el peso para determinar la evaporación dentro del invernadero

2.3.8 Condición cero (C_0).

Esta fue la denominación que se le asignó al momento en el que cualquiera de los experimentos o testigos dejó de presentar variaciones en el peso o alcanzó el peso de la condición inicial (CI) - 1000 g (Aproximadamente).

2.4 TOMA DE DATOS Y OBSERVACIONES.

Esta fue la fase mas larga del proceso de investigación. Durante 22 semanas fue observado el comportamiento de los distintos experimentos y de los árboles testigo con respecto a:

- la variación en el peso de los experimentos.
- Los cambios morfológicos.
- La temperatura.
- La evaporación.

Figura 6. Toma de datos y observaciones.



Fuente: El autor. 2006

Estas variables fueron determinadas con el objetivo de ser analizadas al final de la etapa de invernadero; observar su comportamiento en el tiempo y cuales fueron las variaciones entre experimentos y testigos. Las observaciones y actividades durante este proceso están consignadas en el anexo B

2.5 ESTUDIO DE LABORATORIO.

De acuerdo al procedimiento descrito en el libro de métodos analíticos del laboratorio de suelos, (ver anexo C) se procedió a realizar el análisis de los elementos descritos en este (Ver Numeral 2.5.2), con el propósito de comprobar si los árboles presentaron absorción y/o acumulación de algunos de estos elementos.

2.5.1 Selección de árboles para análisis en el laboratorio.

Después del proceso de experimentación en el invernadero, fueron seleccionados en total 4 árboles para que fueran analizados en el laboratorio; los cuales corresponden a la especie B (*E Cinerea*) y C (*E Ficifolia*) y al ensayo que se realizó con medio de soporte (sólido), al igual que sus respectivos testigos. Los árboles de la especie A (*E Grandis*) fueron descartados porque murieron durante la etapa de invernadero.

El limitante principal para no escoger los experimentos y los testigos correspondientes al ensayo semi-líquido y líquido fue el grado de stress que sufrieron, y así mismo el costo de las pruebas que se realizaron.

2.5.2 Análisis de tejidos vegetales y suelo.

Con el fin de determinar si existía aporte de Calcio (Ca), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Potasio (K), Manganeso (Mn) y Magnesio (Mg) de la muestra de lixiviado a los árboles, se realizó el análisis de dichos elementos en el suelo, la raíz, el tallo y las hojas; con la finalidad de apreciar y analizar la variación en las

concentraciones de cada una de estas partes, de igual manera fueron analizados estos mismos parámetros en los árboles testigos correspondientes (ver anexo D).

Estos elementos fueron escogidos para ser analizados debido a que Calcio (Ca), Hierro (Fe), Potasio (K), y Magnesio (Mg) son micronutrientes relacionados al crecimiento de las plantas, mientras que el Cobre (Cu), el Cinc (Zn), y Manganeso (Mn) son candidatos para un proceso de captación por medio de las raíces y su posterior acumulación en tallos y hojas.²⁵



Fuente: El autor. 2006

2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

El análisis estadístico se realizó por medio del programa SAS, el cual ajustó un modelo de regresión considerando un diseño completamente al azar, para determinar si existen diferencias significativas de las variables entre los experimentos y los testigos, entre especies, el tiempo y la variación del peso.

²⁵ EPA. Guía del ciudadano: Medidas fito correctivas [online]. Estados unidos: EPA, 1996. p. 1
Disponible en
<http://www.hrsc.org/hrschtml/tocs/tosc/sswtosc/brownfields/frames/documents/brownfields/remediation/communityguides/spanishphyto.pdf>

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En el análisis de los resultados se tuvo en cuenta los datos y observaciones registradas, las actividades en el invernadero, datos de las prácticas de laboratorio realizadas y los resultados obtenidos en la comparación estadística

3.1 MORFOLOGÍA.

En la tabla 5 se observa la caracterización morfológica inicial de los árboles empleados durante la investigación y en el anexo E Se describen las caracterizaciones morfológicas realizadas a los árboles correspondientes a las semana 8 y a la semana 20.

Tabla 5. Caracterización morfológica inicial.

Experimento	Altura Del Tallo (Cm)	Diámetro Del Tallo (Cm)	Número De Ramas	Número De Hojas
A1	110	0.8	24	86
A2	108	0.6	19	105
A3	108	0.8	14	99
A4	107	0.8	13	123
A5	114	0.75	7	63
A6	104	0.85	13	159
B1	50	0.8	17	*211
B2	55	0.8	19	*222
B3	42	0.7	15	*198
B4	43	0.75	18	*188
B5	52	0.8	17	*202
B6	43	0.8	18	*178
C1	108	1.15	15	69
C2	110	2.1	7	88
C3	103	1.5	5	82
C4	129	2.1	18	197
C5	118	1.6	6	81
C6	96	1.1	10	80

* tomado en una rama identificada

Fuente: El autor. 2006

De acuerdo a la tabla 6 se observa claramente que todos los experimentos tuvieron pérdida de hojas, B1 y C4 presentaron aumento en el diámetro y A1, A4, B6 Y C5 variación en la altura del tallo. Así mismo es necesario aclarar que para la caracterización de la semana 20 se descartó la especie A; debido a que esta había muerto durante el desarrollo de la investigación por razones que se explicaran más adelante.

Tabla 6. Resultado de los cambios morfológicos.

Exp	Altura del tallo (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Número de ramas	Número de hojas
A1	+ 0.5	=	=	- 13
A2	=	=	=	- 13
A3	=	=	=	- 21
A4	+1.2	=	=	- 15
A5	=	=	=	- 13
A6	=	=	-1	- 14
B1	=	+ 0.5	=	- 13
B2	=	=	=	- 19
B3	=	=	=	- 16
B4	=	=	=	- 4
B5	=	=	=	- 14
B6	+ 0.1	=	=	- 20
C1	=	=	=	- 9
C2	=	=	=	- 7
C3	=	=	=	- 8
C4	=	+ 0.1	=	- 5
C5	+ 0.5	=	=	- 4
C6	=	=	=	- 10

(+) Se modifico positivamente.

(-) Sufrió perdida.

(=) No existió cambio

Fuente: El autor. 2006

Un resultado común en las tres especies, es el hecho que todos los árboles que hicieron parte de los ensayos semi-líquido y líquido presentaron modificaciones

negativas (cambio en el color y pérdida de hojas) más rápido que los árboles correspondientes al ensayo sólido (con material de soporte).

3.1.1 Especie A (*Eucalyptus Grandis*). Esta especie fue la que mas sufrió cambios morfológicos relacionados al cambio de color de las hojas, durante la investigación, tanto en los ensayos que estuvieron en contacto con la muestra de lixiviado, como sus respectivos testigos.

Como se aprecia en la figura 8 el cambio en el color de las hojas de la especie es evidente, hasta que se produjo la muerte para la semana 17 aproximadamente; aunque es necesario anotar que los árboles correspondientes a los ensayos 2, 3, 4, 6 (semi-líquido y líquido) fueron afectados con mayor rapidez por la condición hipertónica en la que se encontraban.

Figura 8. Evolución foliar de la especie A durante la investigación.



Fuente: El autor. 2006.

La primera evidencia de stress* en los árboles se manifestó en las hojas; las cuales cambiaron de textura gradualmente, de aterciopelada a áspera al tacto y perdieron su plasticidad natural hasta volverse quebradizas.

La muerte de esta especie es atribuida a cambios bruscos en la temperatura, que aunque están en el rango de temperatura al que esta acostumbrado esta

* denominación que se le dio a los cambios principalmente de color y de textura de las hojas durante la investigación

especie²⁶. Debido a que esta que no soporta fácilmente los cambios violentos en periodos cortos y constantes.

3.1.2 Especie B (*Eucalyptus Cinerea*). A pesar de ser la especie de menor tamaño comparada con las otras dos especies empleadas; esta fue la especie que mostró un menor grado de stress y cambios morfológicos negativos (los que son relacionados al estado de las hojas) en los experimentos 1 y 4; los cuales corresponden al ensayo sólido (Ver figura 9).

Con respecto a los ensayos semi-líquido y líquido estos presentaron un mayor grado de stress, consecuente con las condiciones hipertónicas a las que estaban enfrentados.

Figura 9. Evolución foliar de la especie B durante la investigación.



Fuente: El autor. 2006.

Al finalizar la experimentación, se pudo evidenciar una clara diferencia entre las características de las hojas del experimento que estuvo en contacto con el lixiviado y su respectivo testigo, que aunque ya evidenciaban signos de stress en ambas plantas, el cambio de pigmentación puede ser atribuido al contacto con el lixiviado; debido a que en comparación con los testigos los árboles de esta especie cambiaron su color de una manera distinta.

²⁶ MESKIMEN George. Myrtaceae Familia de los mirtos disponible en: <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Eucalyptusgrandis.pdf>

En la figura 10 se observa claramente la diferencia en el color del árbol que estuvo en contacto con el lixiviado (experimento) y el árbol que estuvo en contacto con agua (testigo).

Figura 10. Comparación visual entre el experimento y el testigo de la especie B.



Experimento.

Testigo.

Fuente: El autor. 2006.

Por otra parte en la figura 11, se observa que no se presentó un cambio sustancial en las características de las raíces del experimento B1 que pueda ser atribuido al contacto con lixiviado, debido que al realizar la comparación visual final la estructura de la raíz se notaba muy similar entre experimento y testigo. La pérdida de tejido fue ocasionada durante el procedimiento de des-sembrado y lavado de la raíz.

Figura 11, Comparación de las raíces del experimento B1 al inicio y al final de la etapa de invernadero.



Fuente: El autor. 2006

3.1.3 Especie C (*Eucalyptus Ficifolia*). En todos los experimentos que se llevaron a cabo con esta especie, se presentó stress, que fue moderado; aunque con una investigación más prolongada, se habría producido la muerte de los árboles por estas condiciones.

En la figura 12 se observa que gradualmente las hojas de los árboles de la especie C inicialmente empezaron a perder color por los bordes hacia el centro de las hojas, así mismo presentaron pérdida de plasticidad; al tacto con el pasar del tiempo las hojas empezaron a sentirse más ásperas; y a perder la línea original tendiendo a formarse curvas en las hojas como se ve en el extremo derecho de la figura 12.

Figura 12. Evolución foliar de la especie C durante la investigación.



Fuente: El autor. 2005 - 2006

Estos cambios negativos no se pueden atribuir al contacto con el lixiviado debido a que tanto los experimentos como los testigos fueron afectados prácticamente de la misma forma. Esto se puede observar en la figura 13

Figura 13. Comparación visual final entre el experimento y el testigo de la especie C.



Experimento.



Testigo.

Fuente: El autor. 2006

En cuanto a las raíces de la especie C como se aprecia en la figura 14 estas sufrieron un oscurecimiento que no se puede atribuir al contacto con el lixiviado si no a condiciones normales de pigmentación por el contacto con la tierra; la pérdida de tejido en la raíz también es al igual que en la especie B el resultado del proceso de des-sembrado y lavado de las raíces.

Figura 14. Comparación de las raíces del experimento C1 al inicio y al final de la etapa de invernadero.

Estado inicial



Estado final



Fuente: El autor. 2005-2006

3.1.3 Comparación morfológica entre especies.

Al realizar el análisis visual entre las especies durante la etapa de invernadero se observó claramente que durante la etapa de invernadero, la especie B (*E Cinerea*) fue la que mejor soporto las condiciones en todos sus experimentos, seguido por la especie C (*E Ficifolia*) y finalmente la especie A (*E Grandis*).

También se puede afirmar que las tres especies tuvieron en común que los experimentos y los testigos, pertenecientes a los ensayos semi- líquido y líquido sufrieron más rápido el envejecimiento de las hojas debido a que no estaban en “condiciones naturales”.

3.2 COMPORTAMIENTO CON RESPECTO AL PESO DE LAS ESPECIES.

3.2.1 Especie A (*Eucalyptus Grandis*).

Esta especie se comportó de manera constante frente a la variación del peso hasta el tercer mes (ver tabla 7). De acuerdo a la figura 15 se puede observar que existe un aumento en el peso; debido a que el promedio es mayor entre meses: Lo que indica que los experimentos no estaban perdiendo peso.

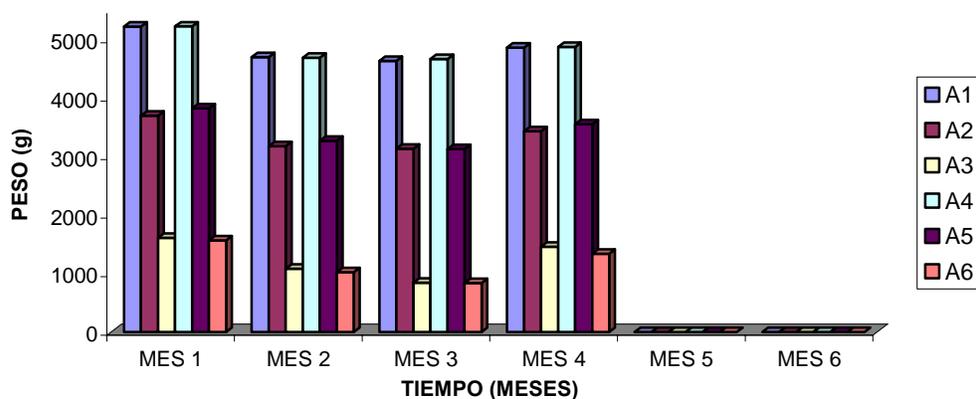
Tabla 7. Promedio mensual del peso de la especie A.

	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
A1	5219.64 gr	4697.92 gr	4629.17 gr	4860.42 gr	*	*
A3	1608.93	1081.25	841.67	1454.17	*	*
A4	5221.43	4687.50	4662.50	4872.92	*	*
A5	3821.43	3268.75	3127.08	3547.92	*	*
A6	1566.07	1018.75	837.50	1337.50	*	*

* no existen datos por el fallecimiento de los árboles

Fuente: El autor. 2005-2006

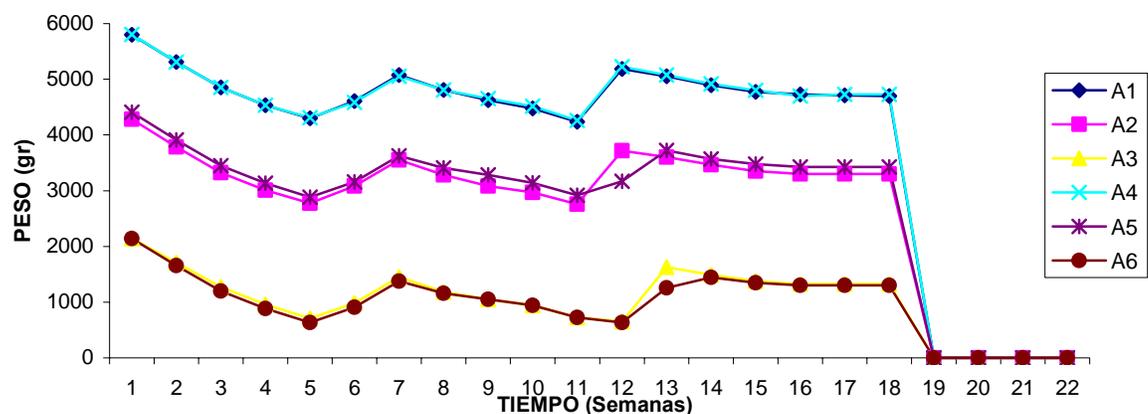
Figura 15. Comportamiento promedio mensual de la especie A.



Fuente: El autor. 2006

En el anexo F se registran todos los cambios de peso que se presentaron durante la fase de toma de datos y las observaciones de los seis experimentos de la especie A. En la semana seis y entre la semana doce y trece le fue adicionado nuevamente muestra de lixiviado a los experimentos y agua a los testigos respectivamente (Ver figura 16) lo que determina que en total por árbol fueron aparentemente absorbidos 3000gr de lixiviado o agua respectivamente.

Figura 16. Adición de muestra de lixiviado y agua a los experimentos de la especie A.



Fuente: El autor. 2006

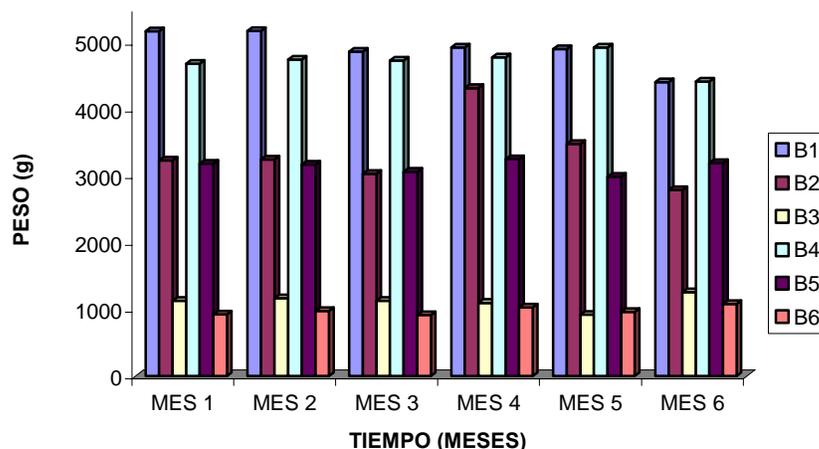
La figura 16 además de mostrar la adición de lixiviado o agua en los experimentos, también se observa la similitud en el comportamiento de los experimentos con los testigos, es decir prácticamente siguen la misma línea de comportamiento; el corte abrupto en la toma de datos es debido a que al estado físico de las plantas hacia suponer tanto en los experimentos como en los testigos que los árboles habían muerto.

3.2.2 Especie B (*Eucalyptus Cinerea*).

El registro del comportamiento de esta especie se encuentra en el anexo G. En cuanto al promedio mensual se puede decir que esta especie presentó los valores más constantes de disminución del peso con respecto a las condiciones iniciales,

exceptuando en el mes cuatro donde al igual que la especie A; el promedio fue mayor por la prontitud a la que le fue adicionado lixiviado o agua (ver figura 17).

Figura 17. Comportamiento promedio mensual de la especie B.



Fuente: El autor. 2006

Tabla 8. Promedio mensual del peso de la especie B.

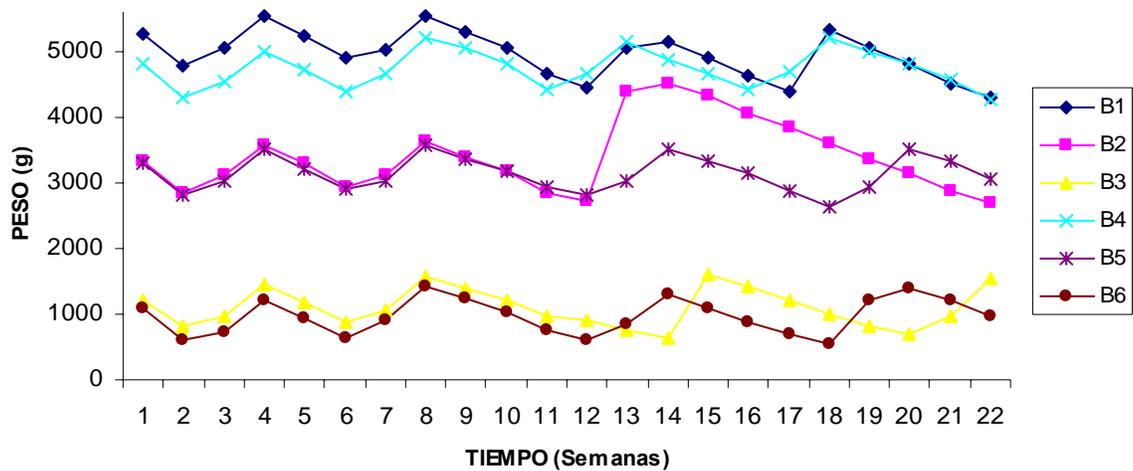
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
B1	5171.43 g	5172.92 g	4866.67 g	4927.08 g	4902.08 g	4408.33 g
B2	3232.14	3247.92	3035.42	4318.75	3483.33	2791.67
B3	1130.36	1168.75	1129.17	1100.00	922.92	1258.33
B4	4682.14	4743.75	4733.33	4777.08	4927.08	4416.67
B5	3185.71	3172.92	3064.58	3252.08	2989.58	3195.83
B6	925.00	977.08	914.58	1031.25	962.50	1083.33

Fuente: El autor. 2006

Como se observa en la figura 18 la segunda adición de muestra de lixiviado fue durante la semana tres y la semana cuatro, siendo la primer especie la que alcanzó la “condición cero (C_0)”; posteriormente las respectivas adiciones de agua y lixiviado ocurrieron en la semana ocho (tercera vez), entre la semana trece y la semana quince, y finalmente para los experimentos B1, B4, B5 y B6 hubo otra adición entre las semanas diecinueve y veinte. En total por árbol le fueron adicionados 4000 g de lixiviado en el caso de los experimentos, y 4000 g para los

testigos (exceptuando a B1, B4, B5 y B6, a los cuales en total se les adicionó 5000 gramos respectivamente).

Figura 18. Adición de muestra de lixiviado y agua a los experimentos de la especie B.

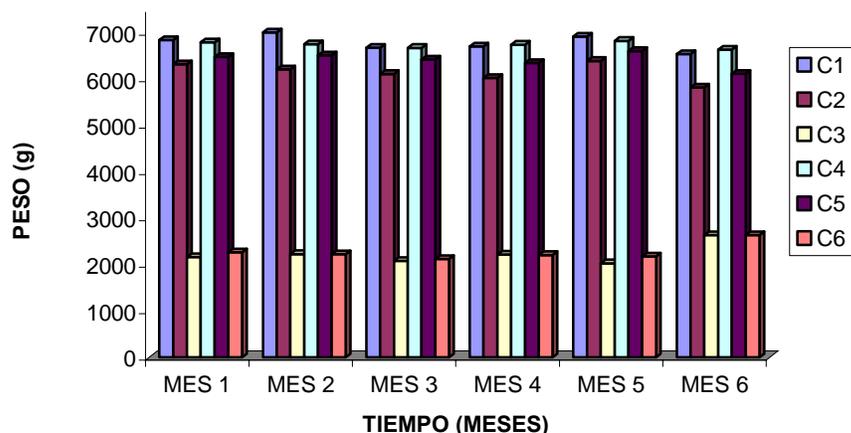


Fuente: El autor. 2006

3.2.2 Especie C (*Eucalyptus Ficifolia*).

Aunque los árboles de esta especie eran los de mayor tamaño, estos se comportaron de forma promedio sin exceder el consumo de lixiviado alcanzado por la especie B. En el anexo H se encuentran registrados todos los cambios en el peso de esta especie. En la figura 19 se observa que en promedio esta especie no presentó una reducción sustancial con respecto al peso inicial.

Figura 19. Comportamiento promedio mensual de la especie C.



Fuente: El autor. 2006

De acuerdo a la tabla 9 se observa que en el caso del experimento C1 en los meses 2, 4, y 5 se presenta un aumento de peso con respecto al inmediatamente anterior; esto es debido a que este experimento alcanzó rápidamente la “condición cero (C₀)” y al realizar el promedio pareciera que estuviera mas bien ganando peso que perdiéndolo

Tabla 9. Promedio mensual del peso (g) de la especie C.

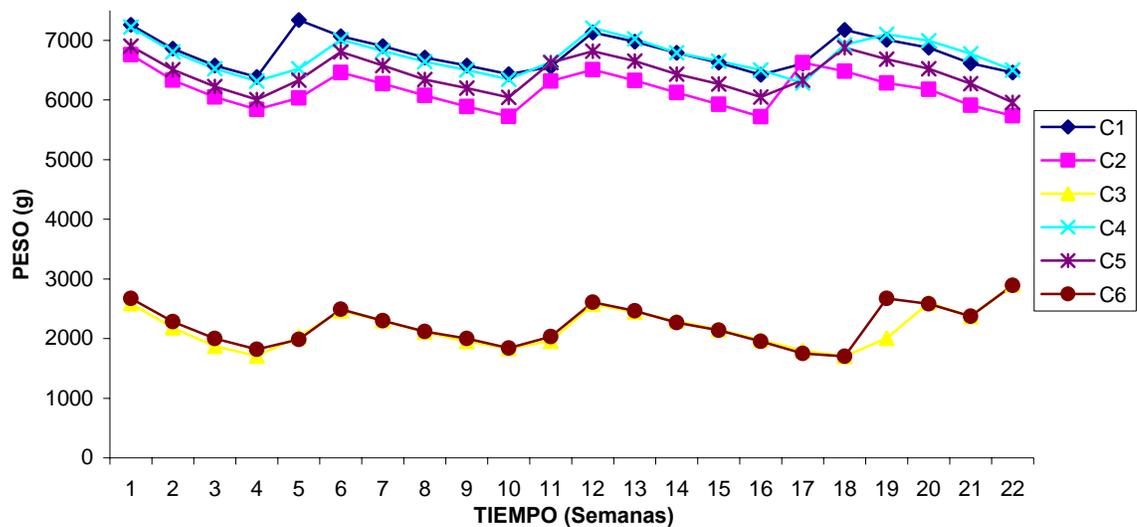
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
C1	6839.29 g	7004.17 g	6675.00 g	6704.17 g	6916.67 g	6537.50 g
C2	6319.64	6210.42	6110.42	6022.92	6391.67	5820.83
C3	2158.93	2227.08	2079.17	2214.58	2027.08	2633.33
C4	6791.07	6750.00	6672.92	6741.67	6825.00	6637.50
C5	6480.36	6514.58	6420.83	6350.00	6604.17	6116.67
C6	2262.50	2222.92	2120.83	2206.25	2177.08	2633.33

Fuente: El autor. 2006

Con respecto a la adición de muestra de lixiviado y agua en total para todos los árboles, se les agregó 4000 g; aunque cabe anotar que en el experimento C3 y el testigo C6 se observa un aumento de peso para la semana veintidós; el cual se debió a una precipitación que derrumbó una parte del techo del invernadero e hizo que estos experimentos ganaran peso extra por esta causa.

Así mismo, en la figura 20 se observa que los árboles de los experimentos de esta especie presentaron una gran variación con respecto al peso entre los ensayos sólido y semi-líquido con respecto al líquido; esto es debido a que se les agregó mas tierra a los dos primeros ensayos.

Figura 20. Adición de muestra de lixiviado y agua a los experimentos de la especie C.



Fuente: El autor. 2006

3.3 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL PESO ENTRE ESPECIES.

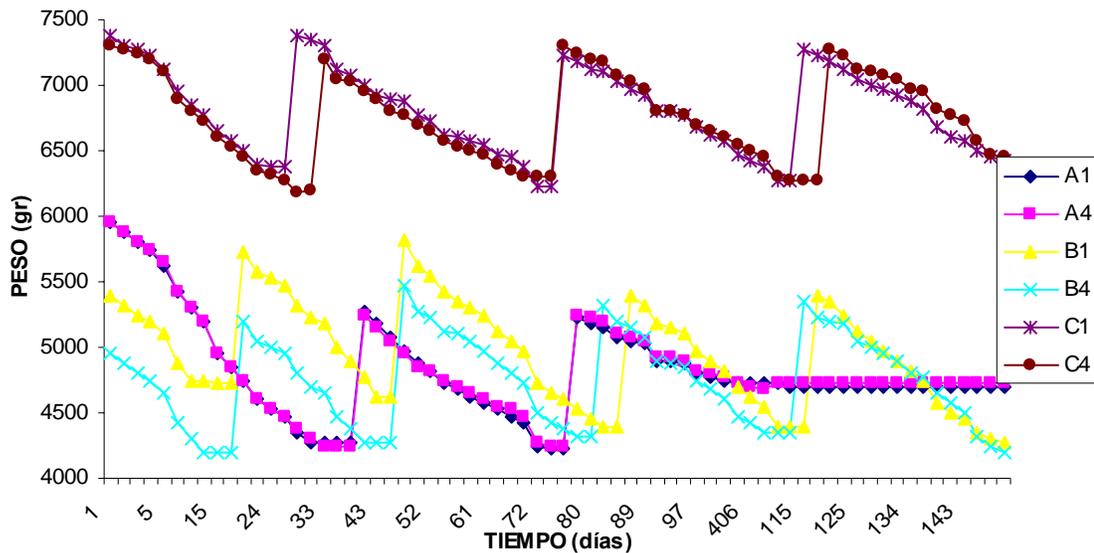
Con la finalidad de determinar cual de las tres especies presentó un mayor rendimiento en cuanto a la disminución del peso contra el tiempo, fue necesario comparar las especies en sus distintos ensayos.

3.3.1 Ensayo sólido.

En la figura 21 se observa el comportamiento de los ensayos sólidos de las tres especies. Se aprecia que en relación de la disminución del peso con el tiempo, el primer ensayo en acercarse a la “condición cero (C_0)” fue el experimento B1 el día 17, seguido por el experimento C1; al cual le fue agregado lixiviado el día 29, y

finalmente el experimento A1, luego de pasar por 3 lecturas sin que se alterara su peso, le fue agregado el día 40.

Figura 21. Comparación diaria entre especies del ensayo sólido



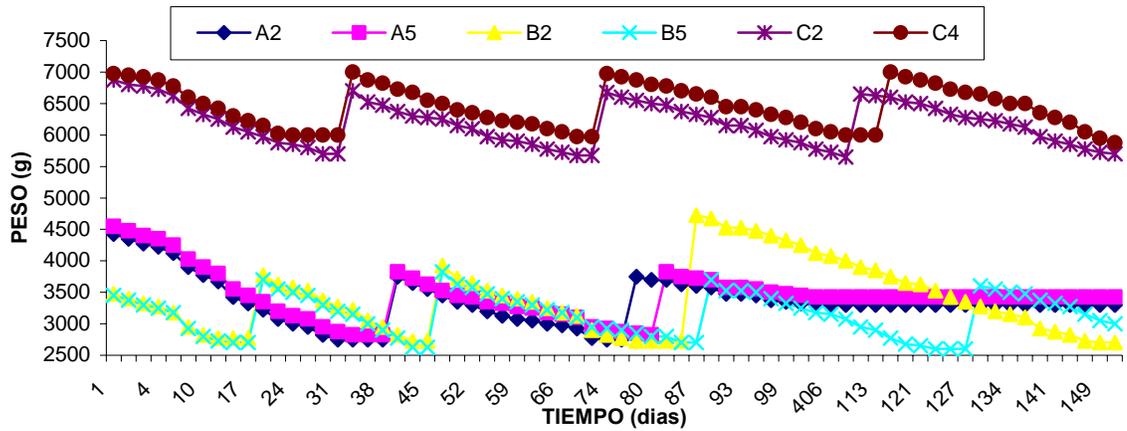
Fuente: El autor. 2006

Igualmente en la figura 21 se observa que la tendencia de adición de lixiviado es la misma; es decir primero la especie B seguida de la C y finalmente la especie A. Los experimentos de este ensayo se comportaron de manera casi idéntica a sus respectivos testigos; este hecho se identifica claramente al observar el experimento A1 y su respectivo testigo (A4).

3.3.2 Ensayo semi-líquido.

Como en el caso del ensayo sólido, en este la especie B alcanzó primero la “condición cero (C_0)”. Es de aclarar que en el día 87 no le fueron agregados 1000 g de la muestra de lixiviado sino que por error se le agregaron 2000 g; aunque este hecho no obstaculizó la pérdida de peso del experimento. En la figura 22 se puede observar la similitud del comportamiento entre testigos y los experimentos.

Figura 22. Comparación diaria entre especies del ensayo semi-líquido.

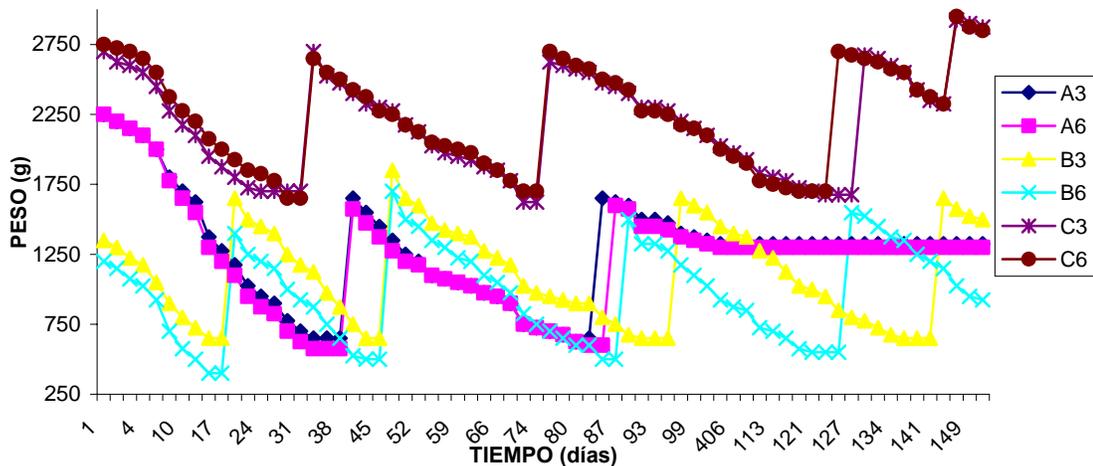


Fuente: El autor. 2006

3.3.3 Ensayo líquido.

En la figura 23 se observa que este ensayo fue el que presentó la mayor similitud entre los experimentos y los testigos. En el caso de los días 92 a 94 no se registró cambio sustancial en el peso de los experimentos y los testigos; debido a que las lecturas se realizaron diariamente.**

Figura 23. Comparación diaria entre especies del ensayo líquido.



Fuente: El autor. 2006

** Es necesario recalcar el hecho de la suma de peso en experimento C3 y su testigo C6 después del día 143, hecho que se aclaró en la tabla 9.

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL COMPORTAMIENTO DEL PESO.

En base a la información que se tiene del comportamiento del peso en las plantas examinadas durante las veintidós (22) semanas, se ajustó un modelo lineal generalizado, el cual busca expresar la variable peso en función de la especie y de la semana de medición. Para lo cual se escogió un diseño completamente al azar para este experimento, donde los tratamientos son la combinación de cierta especie con la aplicación del lixiviado y las semanas corresponden a las réplicas.

De acuerdo a los gráficos anteriores se puede pensar que no existe una relación entre la medición obtenida del peso y la semana en la que se realizó la toma del dato. Sin embargo se realiza la comparación de promedios.

Inicialmente se ajusta un modelo que incluye todas las variables consideradas (ver tabla 10).

Tabla 10. Análisis de variancia de Duncan para la evaluación del peso.

VARIABLE DEPENDIENTE: PESO					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	18	1457433629	80968535	697.18	<.0001
Error	353	40996386	116137		
Total correcto	371	1498430015			

Fuente: El autor. 2006

De acuerdo a la tabla 10 este modelo es bueno ya que el p-valor es menor al 0.05. Esto teniendo en cuenta que las hipótesis a probar son:

H0= El modelo no es significativo

H1= El modelo es significativo

Entonces en general si p-valor es menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula de no significancia.

El $R^2 = 0.97$ es un valor bastante bueno que indica que el modelo ajusta adecuadamente los datos.

Dado que los datos no están completos debido a la muerte de los árboles de la especie A, el tipo de sumas, de sumatoria de cuadrados que se deben tener en cuenta para el ajuste de los parámetros del modelo es de Tipo III. De acuerdo a la tabla 11 en este caso la variable semana no es significativa en el modelo.

Tabla 11. Determinación del tiempo como variable.

FUENTE	DF	TIPO III SS	CUADRADO DE LA MEDIA	F. VALOR	PR > F
SEMANA	1	209523	209523	1.80	0.1801
ESPECIE	17	1456850776	85697104	737.90	<.0001
SEMANA	21	11133374	530161	5.87	<.0001
ESPECIE	17	1453119229	85477602	946.51	<.0001

Fuente: El autor. 2006

Pero al clasificar por semana la información encontramos que la variable ya es significativa en el modelo, es decir que aunque no afecta el resultado de los pesos si es posible clasificarla en grupos. Estos grupos han de ser comparados para ver que tan marcados se encuentran.

Al realizar la clasificación por semanas, se observa que las clasificaciones no son claras ya que hay semanas que pertenecen a más de un grupo (ver tabla12).

Tabla 12. Prueba de comparación de Duncan por semanas.

AGRUPAMIENTO DE	MEDIA	N	SEMANA.
-----------------	-------	---	---------

DUNCAN												
A										4276.1	18	1
A	B									4177.8	12	20
A	B									4175.7	12	19
	B	C								3981.9	12	21
	B	C								3965.7	18	13
		C	D							3940.3	12	22
		C	D	E						3915.3	18	14
		C	D	E	F					3865.7	18	8
		C	D	E	F					3838.9	18	7
		C	D	E	F	G				3823.1	18	2
		C	D	E	F	G				3822.7	18	15
		C	D	E	F	G	H			3775.5	18	18
			D	E	F	G	H			3756	18	12
			D	E	F	G	H	I		369.5	18	9
				E	F	G	H	I		3679.6	18	6
					F	G	H	I		3662.5	18	16
					F	G	H	I		3659.7	18	17
					F	G	H	I		3647.2	18	3
					F	G	H	I		3631.9	18	4
						G	H	I		3580.1	18	5
							H	I		3537.5	18	10
								I		3463	18	11

Fuente: El autor. 2006

Se utilizó la prueba de Duncan ya que es la más sensible en casos en los que se tiene suficiente información y se desea saber con certeza si existen diferencias entre ciertos tratamientos o en este caso entre las especies consideradas. La prueba de Duncan realiza grupos de variables cuyos promedios son similares, es decir que las diferencias no son significativas estadísticamente.

Eliminando entonces la variable semana del modelo, se obtiene la tabla 13 o Tabla de ANOVA:

Tabla 13. Análisis de variancia de Duncan para la evaluación del peso.

VARIABLE DEPENDIENTE: PESO					
		Suma de	Cuadrado	F-Valor	Pr > F

Fuente	DF	cuadrados	de la media		
Modelo	17	1457224106	85719065	736.41	<.0001
Error	354	41205909	11640		
Total correcto	371	1498430015			

Fuente: El autor. 2006

De acuerdo a la tabla 14, el modelo seleccionado es adecuado, lo cual se confirma con el $R^2 = 0.9725$ que indica un buen ajuste de la información.

Tabla 14. Prueba de comparación de Duncan para la evaluación del peso.

AGRUPAMIENTO DE DUNCAN								MEDIA.	N	EXP
A								6788.7	22	C1
A								6732.2	22	C4
	B							6428.8	22	C5
		C						6162.2	22	C2
			D					4951	22	B1
			D					4824.4	18	A4
			D					4813.9	18	A1
			D					4736.6	22	B4
				E				3417.9	18	A5
				E				3399.5	22	B2
				E	F			3329.4	18	A2
					F			3134.9	22	B5
						G		2225	22	C6
						G		2173.2	22	C3
							H	1235.6	18	A3
							H I	1180.9	18	A6
							H I	1102.8	22	B3
							I	968.6	22	B6

Fuente: El autor. 2006

De acuerdo a la tabla 14, no existen diferencias significativas entre las especies C1 y C4, entre B1, A1, B4 y A4, entre A2, B2 y A5, entre A2 y B5, entre C3 y C6, entre A3, B3 y A6, y entre B3 y B6.

En cuanto a las correlaciones entre las especies respecto al peso (ver anexo I), se determino que entre las especies de tipo A existe una correlación más bien alta, al

igual que entre las plantas de la especie C. Cosa que no ocurre con las de la especie B ya que son un poco más independientes en el comportamiento.

Estos valores de las correlaciones depende mucho también de los comportamientos tan parecidos que presentan las especies a pesar de que tienen tratamientos diferentes.

3.5 ABSORCIÓN APARENTE (A_a).

La “absorción aparente” (A_a) es el resultado de la diferencia de dos lecturas consecutivas del peso de cada experimento, menos la diferencia de dos lecturas consecutivas del peso de los evaporímetros (lixiviado o agua) instalados en el invernadero.

$$A_a = (D_1 - D_2) - (Ev_1 - Ev_2)$$

Donde:

- A_a : “absorción aparente”.
- D_1 : Lectura de peso inicial (gr).
- D_2 : Lectura de peso subsiguiente (gr).
- Ev_1 : Dato de evaporación inicial (gr).
- Ev_2 : Dato de evaporación subsiguiente (gr).

En la tabla 15 se puede observar un ejemplo del cálculo de la “absorción aparente”.

Tabla 15. Muestra del cálculo de la “absorción aparente” (A_a)

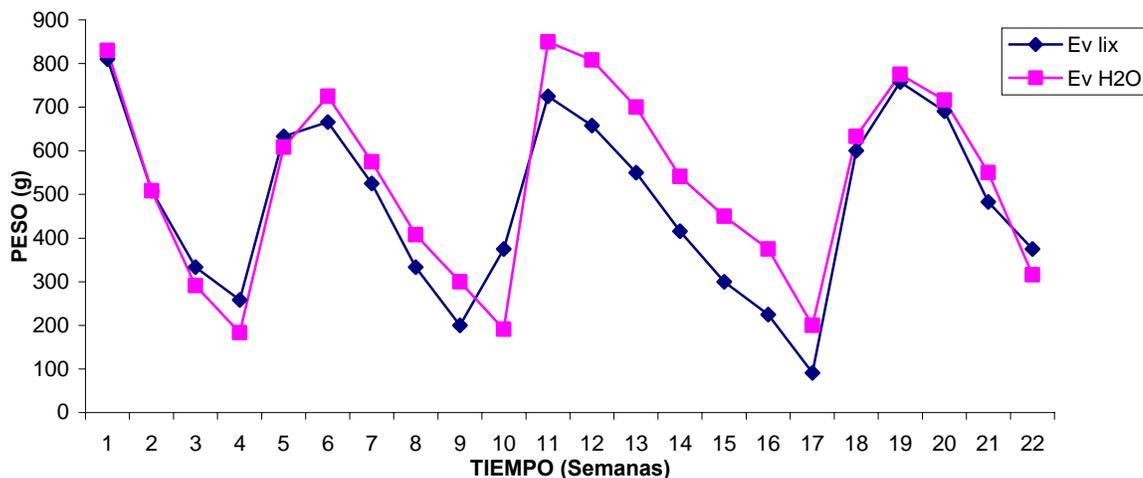
	SEMANA 1				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
A1	5950 g	5875 g	5800 g	5750 g	5625 g
A2	4425	4350	4275	4225	4125
A3	2250	2200	2150	2100	2000
A4	5950	5875	5800	5750	5650
A5	4550	4475	4400	4350	4250
A6	2250	2200	2150	2100	2000
EV LIX	900	850	825	775	700
EV H ₂ O	900	875	850	800	725
$(2200-2150) - (850-825) = 25 \leftarrow A_a$					

Fuente: El autor. 2006

En la figura 24 se presenta el valor promedio de la evaporación encontrada en el invernadero durante la fase de toma de datos y observaciones.

Al igual que en los experimentos y los testigos se contó con unas condiciones iniciales y cuando se alcanzaba la condición cero se procedía a agregar muestra de lixiviado o agua.

Figura 24. Promedio semanal del comportamiento de la evaporación.



Fuente: El autor. 2006

En la figura 24 los picos corresponden a los momentos en los que se agregó lixiviado o agua según fuera el caso. El registro diario del comportamiento de la evaporación se encuentra consignado en el anexo J.

Tabla 16. Valores acumulados de la “absorción aparente” (A_a)

EXPERIMENTO	ABSORCIÓN APARENTE (A_a)
A1	1250 g
A2	1150
A3	975
A4	1125
A5	1025
A6	925
B1	2625
B2	2225
B3	1475
B4	2325
B5	1850
B6	1700
C1	1500
C2	1100
C3	825
C4	1450
C5	1100
C6	850

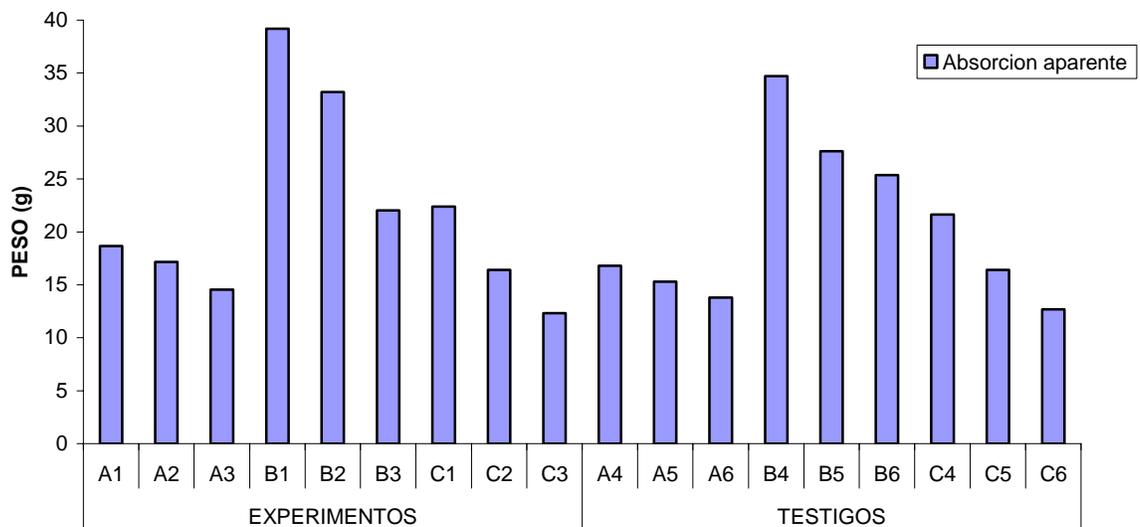
Fuente: El autor. 2006

En la tabla 16 se observa el acumulado total de la “absorción aparente” efectuada por los experimentos de las 3 especies; se aprecia claramente que el ensayo que alcanzó mayor absorción fue el sólido; lo que comprueba que los árboles de estas tres especies logran un mejor rendimiento cuando se simulan mejor sus “condiciones naturales”; le siguió el semi- líquido y finalmente el ensayo líquido. Adicionalmente se observa que la especie que logro el grado de “absorción aparente” más alto fue la especie B, le siguió la especie C y finalmente la especie A.

También es necesario aclarar que se presentaron ocasiones en las que el valor de la “absorción aparente” arrojó valores negativos; lo cual fue causado por la adición de muestra de lixiviado o agua a los experimentos y/o a los evaporímetros. En estas ocasiones se asumía un valor de “absorción aparente” igual a cero.

Como se observa en la figura 25 el valor promedio más alto de “absorción aparente” lo alcanzó el experimento B1, con un valor de 39 g/día, seguido por B2, que presentó un valor de 33 g/ día, C1 con 22 g/día, y finalmente A1 con un promedio de absorción de 19 g /día. En cuanto a los testigos, la especie B fue la que mostró los valores promedio más altos.

Figura 25. Promedio diario de la “absorción aparente”.

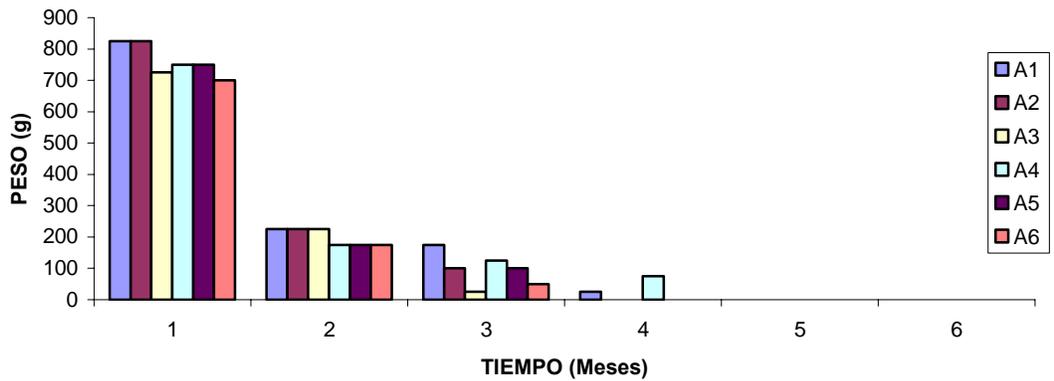


Fuente: El autor. 2006

3.5.1 Especie A (*Eucalyptus Grandis*).

En la figura 26 se observa claramente que esta especie durante el primer mes alcanzó una “absorción aparente” significativa pero después decayó drásticamente hasta que se produjo la muerte de todos los árboles.

Figura 26. “Absorción aparente” acumulada mensual alcanzada por la especie A.



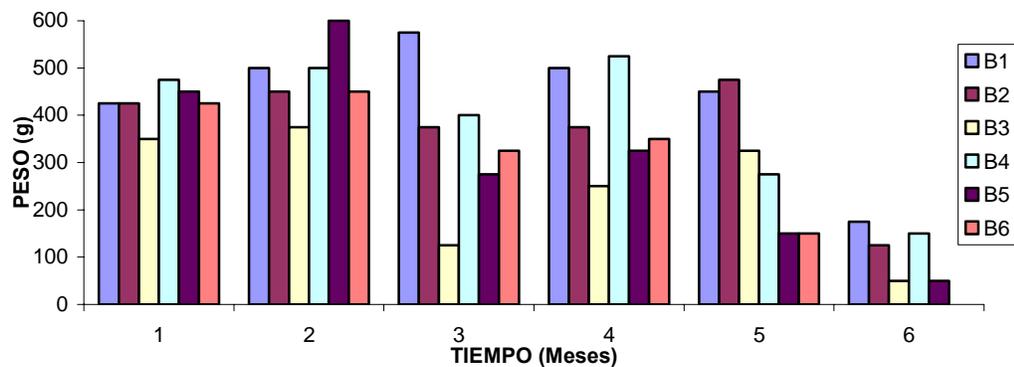
Fuente: El autor. 2006

En el anexo K, Se encuentra el registro diario de la “absorción aparente” logrado por la especie A

3.5.2 Especie B (*Eucalyptus Cinerea*).

Los valores más altos de “absorción aparente” alcanzados por esta especie se presentaron durante el segundo mes (ver figura 27). Es de destacar el descenso de los valores de los experimentos B2, B3, B4, B5 Y B6 en el tercer mes; el cual se debió a que los experimentos no mostraron variación en su peso y al realizar el cálculo de la (A_a) solo se presentaba pérdida de peso por la evaporación. (Ver anexo L)

Figura 27. “Absorción aparente” acumulada mensual alcanzada por la especie B.



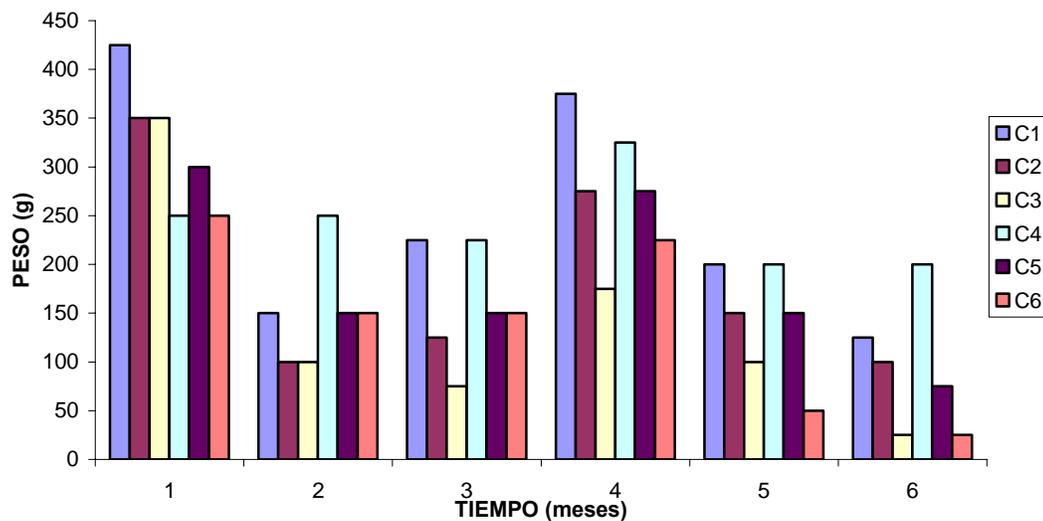
Fuente: El autor. 2006

Los bajos valores registrados en el mes seis se deben a que solo existen lecturas de dos semanas en el mismo.

3.5.3 Especie C (*Eucalyptus Ficifolia*).

La disminución de los valores de la “absorción aparente” durante el segundo y tercer mes (ver figura 28) fue causada debido a que en varias ocasiones se asumió un valor de A_a (“absorción aparente”) igual a cero; lo que produjo la disminución en los datos durante estos meses. Al igual que en las otras dos especies, mes a mes se puede comprobar que el ensayo sólido fue el que presentó las mejores condiciones para que se produjera “absorción aparente” por parte de las plantas (ver anexo N).

Figura 28. “Absorción aparente” acumulada mensual alcanzada por la especie C.



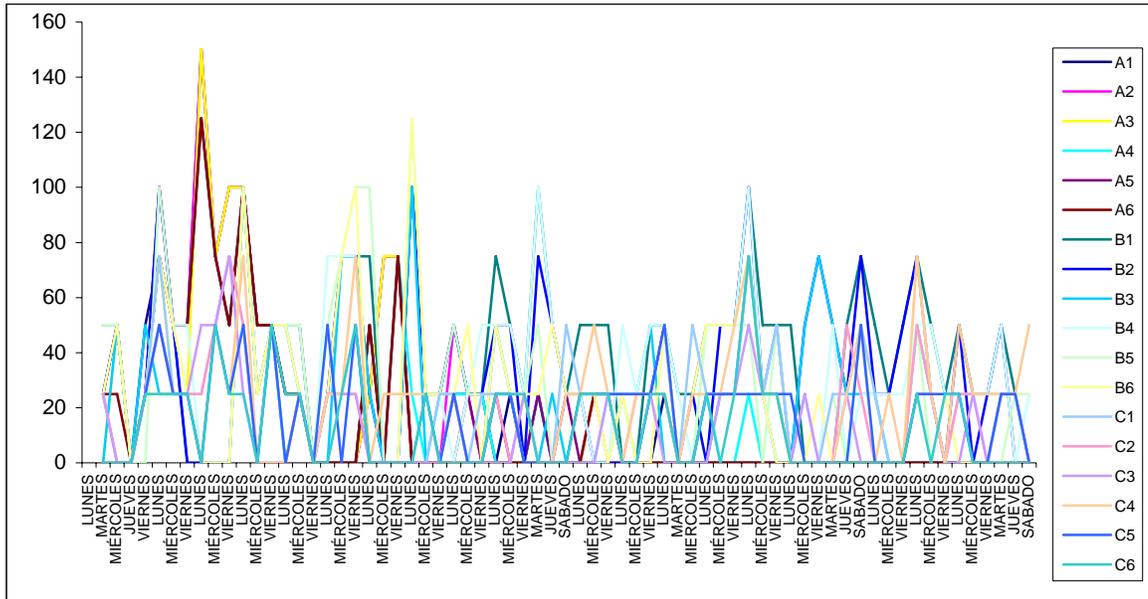
Fuente: El autor. 2006

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ABSORCIÓN APARENTE.

En cuanto al análisis de los datos de absorción se encontró que esta no tiene ningún comportamiento especial ni varía dependiendo de la especie. Los resultados obtenidos, como la tabla 17, tabla de de ANOVA indican que aunque el modelo aparentemente es bueno no explica el comportamiento real de los datos,

esto puede ser debido a que no existe ninguna tendencia clara en la información como se puede ver en la figura 29:

Figura 29. Comportamiento diario de la “absorción aparente” de las especies.



Fuente: El autor. 2006

Tabla 17. Tabla de ANOVA de la “absorción aparente”.

Variable Dependiente: Absorción					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	18	133638.9709	424.3873	11.84	<.0001
Error	1205	755527.1851	626.9935		
Total correcto	1223	889166.1560			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	ABSORCION Media	
	0.150297	120.3092	25.03984	20.8129	

Fuente: El autor. 2006

Las comparaciones de promedios por medio de Duncan presentaron los siguientes resultados (ver tabla 18)

En la tabla 18 se observa, por ejemplo que B2 se comporta como B1, B4, B5, y B6; pero B6 se comporta también similarmente a C1, B3, C4, A1, A2...etc. Lo que resulta en que no existen agrupaciones que faciliten la obtención de información en relación de la absorción debido al comportamiento similar entre los experimentos.

Tabla 18. Grupos de Duncan para la “absorción aparente”.

AGRUPAMIENTO DE DUNCAN						MEDIA.	N	EXP
A						38.603	68	B1
A	B					34.191	68	B4
A	B	C				32.721	68	B2
	B	C	D			27.206	68	B5
		C	D	E		25	68	B6
			D	E	F	22.059	68	C1
			D	E	F	21.691	68	B3
			D	E	F	21.324	68	C4
			D	E	F	13.382	68	A1
				E	F	19.912	68	A2
				E	F	16.544	68	A4
				E	F	16.176	68	C5
				E	F	16.176	68	C2
				E	F	15.074	68	A5
					F	14.338	68	A3

Fuente: El autor. 2006

3.7 ANÁLISIS DE LABORATORIOS.

El resultado de todas las pruebas realizadas en las hojas, tallos, raíces y suelo de los experimentos B1 (*E Cinerea*, ensayo sólido) y C1 (*E Ficfolia*, ensayo sólido) y sus respectivos testigos B4 y C4 están consignados en el anexo N

3.7.1 Análisis foliar.

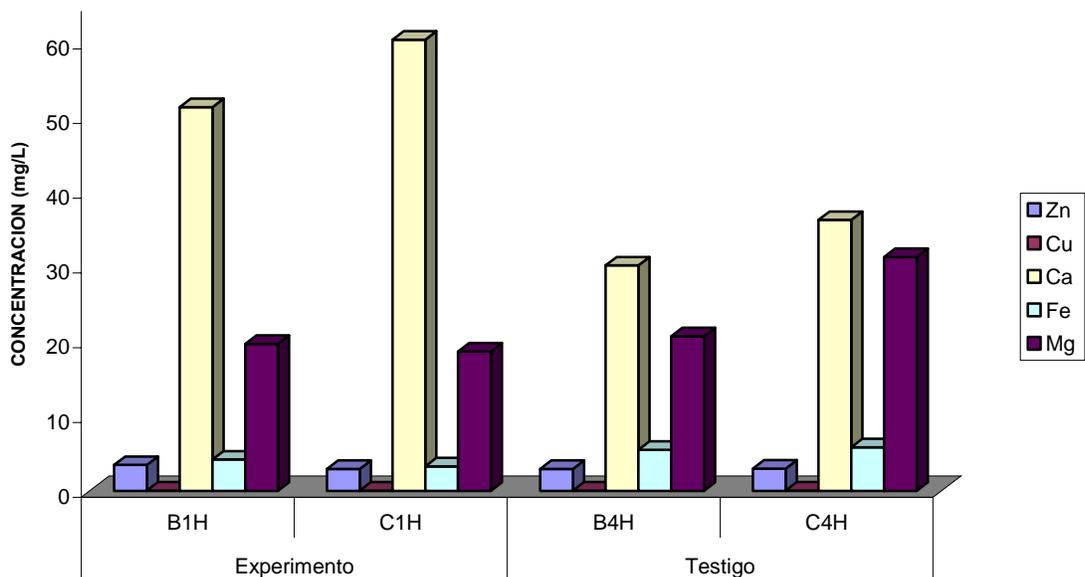
Tabla 19. Análisis foliar de distintas especies de Eucalipto (mg/L)

Especie	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
<i>E badjensis</i>	0,40	0,95	0,13	37	7,3	8,2	1745
<i>E globullus</i>	0,49	1,10	0,18	33,2	6,2	7,1	577
<i>E cypellocarpa</i>	0,43	0,68	0,12	29,7	4,4	7,2	863
<i>E delegatensis</i>	0,34	1,09	0,32	36	5,5	0	1054
<i>E Fastigata</i>	0,40	0,88	0,30	31	6,7	7,7	514
<i>E Nitens</i>	0,39	0,80	0,20	35,8	6,0	8,6	1073
<i>E Obliqua</i>	0,33	0,57	0,22	38,9	5,2	13	500
<i>E Smithii</i>	0,47	0,60	0,13	46,3	4,7	8,8	447
<i>E Viminalis</i>	0,49	0,99	0,19	46,6	5,7	11,8	1002

Fuente. Español, R.Zas,G.Vega. 2000

Al comparar los resultados de la tabla19, con los encontrados al analizar las hojas de los árboles correspondientes a los experimentos B1, B4, C1 y C4 (ver figura 30) se encontró que:

Figura 30. Resultados del análisis foliar.



Fuente: El autor. 2006

Los valores de Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), son mas altos comparados con los encontrados en la teoría; mientras que Hierro (Fe),

Manganeso (Mn)^{***} y Cinc (Zn) presentaron menores concentraciones a los presentados en la tabla 19; el Cobre (Cu) presento valores demasiados bajos al compararlo siendo que el rango de Cbre (Cu) para un crecimiento normal esta usualmente entre 5 a 20 ppm²⁷,

Adicionalmente al observar la figura 30 se puede llegar a la conclusión que la muestra de lixiviado aportó solamente Calcio (Ca). Esta hipótesis se plantea debido a que las diferencias de los otros elementos entre experimentos y testigos no son realmente apreciables como se puede comprobar en la tabla 20

Tabla 20. Resultados análisis foliar especies B y C (mg/L).

	Prueba.	Zn	Cu	Ca	Fe	Mg	K	Mn
Experimento	B1H	3.451	0.018	51.345	4.181	19.651	4.394	780.8
	C1H	2.926	0.018	60.363	3.266	18.627	4.81	721.6
Testigo	B4H	2.926	0.018	30.153	5.471	20.675	2.41	647.2
	C4H	2.961	0.018	36.249	5.816	31.299	6.89	179.2

Fuente: El autor. 2006

3.7.2 Análisis de otros tejidos vegetales.

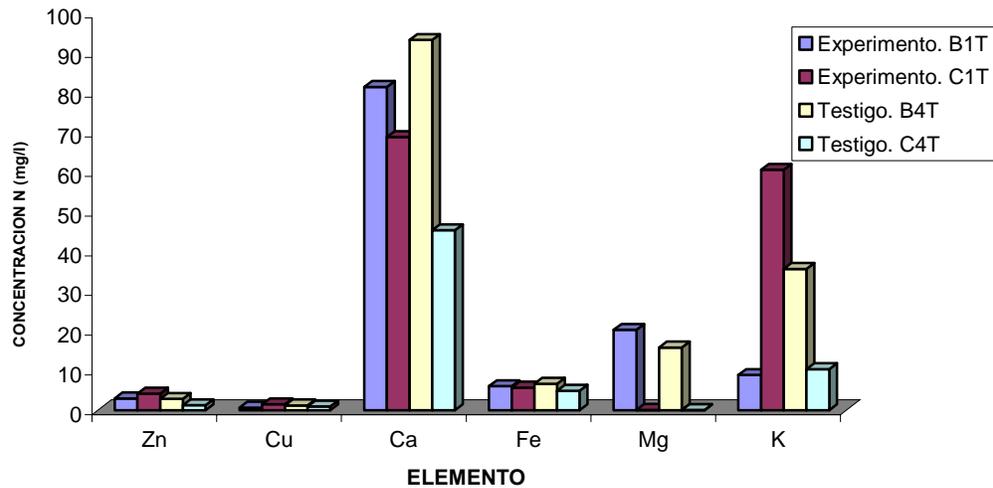
Al no encontrarse datos bibliográficos con los cuales comparar los resultados encontrados, solo se lograron comparar los resultados encontrados en los experimentos con los resultados de los testigos y determinar de esta forma si el lixiviado aportó a la concentración de estos elementos.

3.7.2.1 Tallo. En la figura 31 se resume la caracterización de metales realizada en los experimentos B1 y C1 y los testigos B4 y C4. Se puede apreciar que en cuanto al Calcio (Ca), el valor del experimento es mas bajo que en el testigo para el caso de la especie B, y al contrario de la especie C, donde se reportan mayores concentraciones en el experimento.

*** Se excluyó de las figuras 30 - 35. Debido a que presento valores demasiado altos.

²⁷ HERNÁNDEZ, Op. Cit. , P.1

Figura 31. Resultados del análisis de metales en el tallo.



Fuente: El autor. 2006

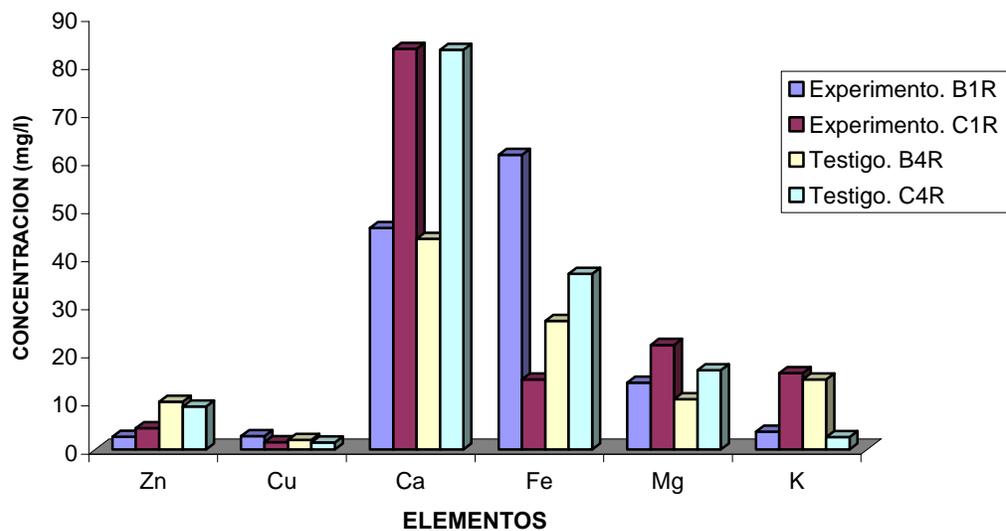
El cobre (Cu) y el Hierro (Fe) en todos los casos presentaron valores muy similares entre testigos y experimentos; lo que conduce a pensar que no existió aporte de los mismos por parte de la muestra de lixiviado. En el caso del Magnesio (Mg) se podría concluir que hubo aporte del lixiviado a la especie B, mientras que en la especie C el valor de este fue casi nulo.

Los metales Cinc (Zn) y Potasio (K) se comportaron de manera similar en el tallo de las especies; es decir se reportó un valor mayor de ambos en los testigos de la especie B, que en los experimentos, y ocurrió lo contrario en la especie C; ya que para el caso de los dos elementos, el valor fue mas alto en los experimentos.

En cuanto al Manganeso, en la especie B no se puede hablar de aporte de este por parte de la muestra de lixiviado; debido a que el valor encontrado fue más alto en el testigo que en el experimento, mientras en la especie C si existe una gran diferencia entre las concentraciones de Mn en el experimento con respecto al testigo.

3.7.2.2 Raíces. Como se observa en la Figura 32, en el caso del Calcio (Ca), los valores entre experimentos y testigos fue casi el mismo en las dos especies, pero al comparar entre especies, la especie C reportó una concentración de aproximadamente el doble con respecto a la especie B. El Cinc (Zn), el Potasio (K), y el Manganeso (Mn) reportaron menores concentraciones en el experimento en comparación con el testigo de la especie B, mientras que en la especie C, para el caso del potasio (K), y Manganeso (Mn), los valores mas altos se presentaron en el experimento.

Figura 32. Resultados del análisis de metales en la raíz.



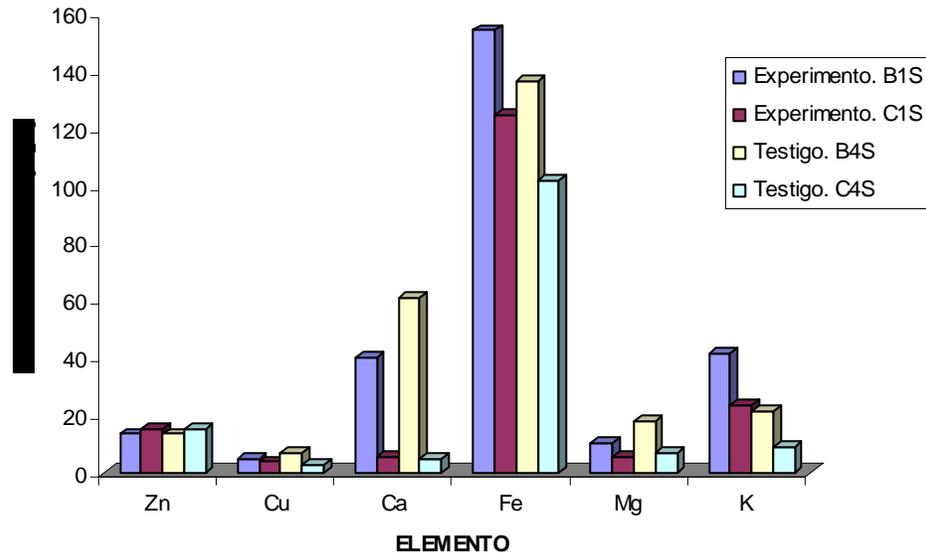
Fuente: El autor. 2006

Los metales Calcio (Ca), y Cobre (Cu), presentaron valores similares al compararlos entre el experimento y el testigo de cada especie. En cuanto al Hierro (Fe) se puede hablar de un aporte del lixiviado en la especie B; debido a que la diferencia entre el experimento y el testigo es muy grande, mientras que en la especie C ocurre lo contrario, Es mayor el valor de la concentración de Hierro (Fe) en el testigo que en el experimento.

3.7.3 Análisis de suelo.

Era de esperar que las concentraciones de un mismo metal presentaran concentraciones similares entre los experimentos, al igual que en los testigos. Lo que solo ocurrió para Cinc (Zn); del cual se puede afirmar que no hubo aporte por parte de la muestra de lixiviado. (Ver figura 33).

Figura 33. Resultados del análisis de metales en el suelo.



Fuente: El autor. 2006

En cuanto al Calcio (Ca), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), y Magnesio (Mg); el testigo de la especie B reportó una mayor concentración al compararlos con el experimento; lo que inicialmente conduciría a pensar que no existió aporte de la muestra de lixiviado de estos elementos; pero al observar los resultados en la especie C se observa lo contrario (excepto para Mg), es decir los valores de concentración de estos elementos son mas altos en el suelo que fue rociado con lixiviado. En los experimentos de las dos especies, los elementos Hierro (Fe) y Potasio (K), demostraron una mayor concentración.

3.8 ACUMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS CARACTERIZADOS

Para esta investigación la acumulación es el resultado de restar la concentración encontrada de los elementos caracterizados en los experimentos (B1 y C1) menos el resultado en los testigos. (Ver tabla 21). Los valores negativos indican que la concentración fue mayor en el testigo que en el experimento. El ejemplo del calculo de la acumulación esta consignado en el anexo O

Tabla 21. Resultados análisis de acumulación en las especies B y C (mg/L).

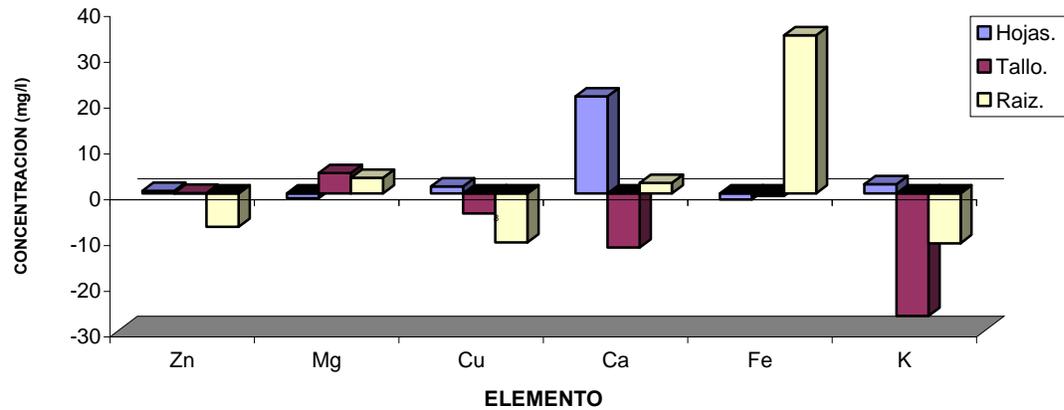
		Zn	Mg	Cu	Ca	Fe	K	Mn
<i>E Cinerea.</i>	Hojas.	0.525	-1.024	1.549	21.192	-1.29	1.984	93.6
	Tallo.	0.105	4.448	-4.343	-11.83	-0.59	-26.78	-126
	Raíz.	-7.27	3.424	-10.69	2.28	34.55	-10.87	-198
<i>E Ficifolia.</i>	Hojas.	-0.03	-12.672	0	24.114	-2.55	-2.08	-68
	Tallo.	2.93	0.00902	0.6	23.52	0.81	50.256	320.8
	Raíz.	-4.51	5.248	0.01	0.192	-22	13.32	53.6

Fuente: El autor. 2006

3.8.1 Especie B (*Eucalyptus Cinerea*).

Como se observa en la figura 34 en las hojas se presento acumulación de Calcio (Ca), Cobre (Cu), Potasio (K), y Zinc (Zn); mientras que el Magnesio (Mg) y el Hierro (Fe) obtuvieron valores negativos lo que indica que el resultado fue mayor en los testigos. En el tallo solo el Magnesio (Mg) y el Zinc (Zn) reportaron valores de acumulación; finalmente en la raíz del experimento se asume que existió aporte de Calcio (Ca), Hierro (Fe) y Magnesio Mg por parte de la muestra de lixiviado.

Figura 34. Acumulación de elementos en el tejido vegetal de la especie B

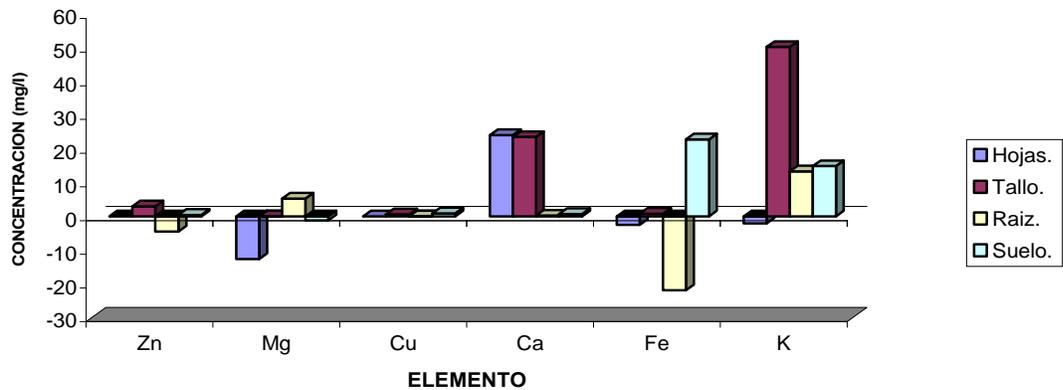


Fuente: El autor. 2006

3.8.2 Especie C (*Eucalyptus Ficifolia*).

En las hojas de esta especie solo se mostró aporte de la muestra de lixiviado de Calcio (Ca); en cuanto al tallo todos los elementos que se registran en la figura presentaron valores positivos lo que se podría interpretar como que existió aporte de la muestra de lixiviado de todos estos elementos. Al árbol experimento; finalmente en la raíz se observa que el Hierro (Fe) y el Cinc (Zn) son los dos elementos que la concentración fue mas alta en el testigo que en el experimento (ver figura 34)

Figura 34. Acumulación de elementos en el tejido vegetal de la especie C



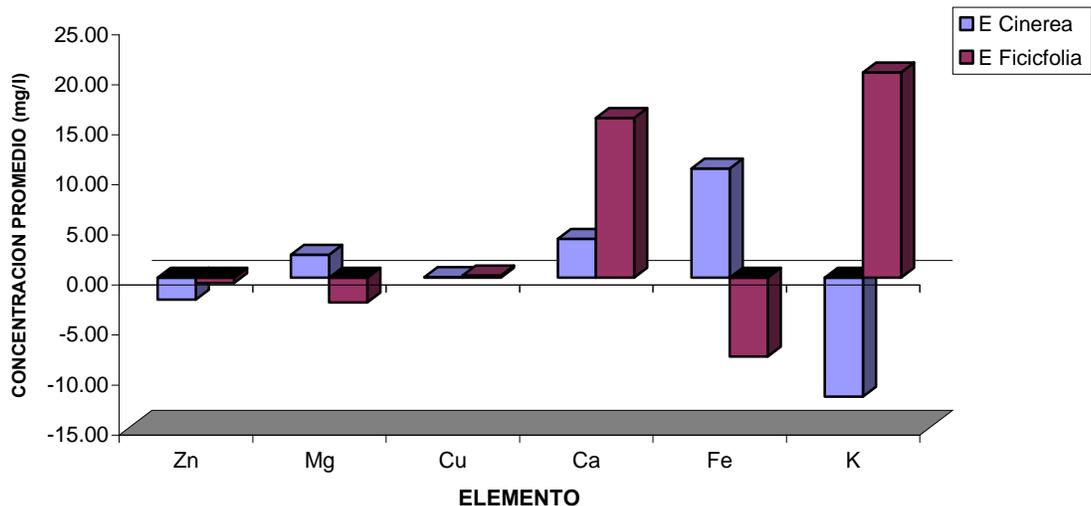
Fuente: El autor. 2006

3.8.3 Acumulación promedio.

Finalmente se realizó un promedio entre las lecturas realizadas en los experimentos de las dos especies y los respectivos testigos; seguido se realizó la diferencia entre experimento y testigo. El resultado de esta operación sirvió para determinar si existió contribución por parte de la muestra de lixiviado de estos elementos o si ya estaban en los árboles.

Como se observa en la figura 35 la especie B (*E Cinerea*) en promedio acumulo Hierro (Fe), Calcio (Ca), y Magnesio (Mg), por su parte en la especie C (*E Ficifolia*) se observo acumulación de de Calcio (Ca) Manganeso (Mn) y Potasio (K); en cuanto al Cobre (Cu) ambas especies mostraron una baja concentración en los experimentos al realzar la diferencia con los testigos.

Figura 35. Acumulación promedio de elementos en las especies B y C.



Fuente: El autor. 2006

Finalmente al promediar y realizar la diferencia entre experimentos y testigos de las especies, incluyendo los resultados del análisis del suelo se puede justificar que, la muestra de lixiviado apporto en la especie B (*E Cinerea*) Hierro (Fe);

mientras que en la especie C (*E Ficifolia*) se registro un aporte de, Cobre (Cu), Potasio (K), Manganeso (Mn); (ver tabla 22).

Tabla 22. Resultados análisis de acumulación incluyendo el suelo en las especies B y C (mg/L).

	Zn	Mg	Cu	Ca	Fe	K	Mn
B	-1.67875	-0.296	-0.4475	-2.35875	12.6075	-4.008	-107
C	-0.29375	-2.149744	0.365	12.13275	-0.20625	19.1	64.8

Fuente: El autor. 2006

4. CONCLUSIONES.

Solo se le puede atribuir un cambio en el color de las hojas, por contacto con la muestra de lixiviado al experimento B1 (*E Cinerea* ensayo sólido), debido a que el resto de experimentos y testigos no mostraron un cambio significativo comparándose entre ellos.

Tanto los árboles en contacto con el lixiviado como los que estuvieron en contacto con agua de los ensayos semi-líquido y líquido (sin suelo) se deterioraron mas rápido que los árboles que tenían medio de soporte (ensayo sólido). Lo que fue resultado de mantener los árboles en condiciones que no eran naturales.

Los cambios bruscos de temperatura fueron los causantes del fallecimiento de la especie A (*EucalyptusGrandis*) y no se puede atribuir este hecho al contacto con la muestra de lixiviado debido a que tanto los experimentos como los testigos perecieron.

La especie A (*EucalyptusGrandis*) fue la especie que menos soportó las condiciones de stress a las que fue sometida en los distintos ensayos, al contrario de la especie B (*EucalyptusCinerea*), la cual soportó mejor las condiciones en el invernadero. En cuanto a la especie C (*Eucalyptus Ficifolia*) de haberse prolongado la investigación habría entrado en estado necrótico debido a que esta ya mostraba señales de degradación en sus hojas.

El comportamiento del tiempo de adición de muestra de lixiviado o agua según correspondiera, entre los ensayos (sólido, semi – líquido y líquido) fue casi idéntico; lo que indica que a pesar de las distintas condiciones los árboles se comportaban de manera similar.

El análisis estadístico arrojó como resultado que no existieron diferencias significativas del comportamiento del peso de los árboles en contacto con la muestra de lixiviado, y las que estuvieron en contacto con agua.

En las tres especies, entre todos los experimentos el que logró la mayor “absorción aparente” fue el ensayo sólido; lo que comprueba que los árboles logran un mejor rendimiento cuando se simulan mejor sus “condiciones naturales” refiriéndose al medio de soporte.

Ninguno de los dieciocho (18) árboles de las tres especies empleadas en la investigación presentó una tendencia clara con respecto a la “absorción aparente”. Debido a que tanto experimentos y testigos se comportaron de manera similar.

Con un promedio de 39 g/día de “absorción aparente” el experimento B1, correspondiente al ensayo sólido de la especie B (*Eucalyptus Cinerea*), presentó el promedio más alto de “absorción aparente”.

El experimento correspondiente al ensayo sólido de la especie C (*Eucalyptus Ficifolia*) registró en promedio 22 g/día de “absorción aparente”.

Durante la etapa de invernadero fueron absorbidos 2625 g de la muestra de lixiviado por parte del experimento de la especie *Eucalyptus Cinerea* (ensayo sólido), y 1500 g por el experimento correspondiente al ensayo sólido de la especie *Eucalyptus Cinerea*.

Al realizar el análisis foliar se llegó a plantear la hipótesis que la muestra de lixiviado aportó solamente Calcio (Ca) debido a que las diferencias de los otros elementos entre experimentos y testigos no son realmente apreciables.

En la especie B (*Eucalyptus Cinerea*), los valores de concentración más altos se registraron en las hojas, exceptuando al elemento Hierro (Fe) el cual registró el valor más alto en la raíz del experimento.

En el material de soporte de la especie B (*Eucalyptus Cinerea*), solo se puede afirmar que hubo aporte de la muestra de lixiviado de Hierro (Fe) y potasio (K); debido a que las concentraciones de los otros elementos analizados reportaron valores de concentración mas altos en el testigo que en el experimento. Mientras que en el material de soporte de la especie C (*Eucalyptus Ficifolia*), solo se determino que la muestra de lixiviado dejo de aportar Magnesio (Mg) y Manganeso (Mn).

La especie C (*Eucalyptus Ficifolia*) registró los valores de concentración más altos en el tallo de los experimentos. Excepto para Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) los cuales se acumularon en las hojas y en la raíz del experimento respectivamente.

Al realizar el promedio de las concentraciones de los elementos analizados, se determinó que la especie B (*Eucalyptus Cinerea*), acumuló Calcio (Ca), Hierro (Fe) y Magnesio (Mg), y la especie C (*Eucalyptus Ficifolia*) acumuló Calcio (Ca), Potasio (K), y manganeso (Mn).

5. RECOMENDACIONES.

En futuras investigaciones relacionadas, no desplantar los árboles del contenedor original (bolsa), si no trabajar directamente en estos, variando las concentraciones de lixiviado y/o agua, para no inducir condiciones de stress, debido al desembrado de los árboles.

Al realizar una nueva investigación, contar con árboles de distintas especies pero con una altura similar; o empezarla con los árboles sin germinar, es decir trabajar desde semillas.

Para confirmar el aporte real de metales por parte de la muestra de lixiviado, es necesario llevar a cabo un estudio con un material de soporte estéril que no aporte elementos a los árboles.

Realizar otra experimentación, como el diseño de una unidad piloto; con el fin de establecer si se presenta remoción de contaminantes por la acción radicular de los Eucaliptos y/o el material de soporte, mediante caracterizaciones de la muestra de lixiviado al inicio y al final del la unidad piloto.

Debido al rendimiento de la especie *Eucalyptus Cinerea*, seria posible optar por realizar una nueva investigación enfocada al diseño de un lecho de absorción para lixiviados basado en esta especie.

Realizar la medición de la capacidad de campo del medio de soporte, en la cual se realiza un estudio posterior con la finalidad de conocer la dosis de lixiviado o agua residual a agregar.

Realizar un análisis del intercambio catiónico (CIC) en el material de soporte empleado en la investigación y un análisis microbiológico de los experimentos y los testigos; con el fin de determinar las diferencias entre experimentos y testigos.

Sería posible determinar el nivel de degradación de la materia orgánica dentro del invernadero mediante la medición de sulfuros en el aire, con el fin de relacionarlo con la presencia de bacterias reductoras de Azufre (S) que podrían estar presentes en la muestra de lixiviado y/o suelo de los experimentos.

BIBLIOGRAFÍA.

COZZO. Domingo. Eucalyptus y eucaliptotecnia. 3ed Buenos Aires, Argentina: El Ateneo, 1955. 373p

EL EUCALIPTO. USOS EN AMERICA [on line] disponible en <http://www.galeon.com/tigre/textos/flora/eucalipto.htm>

EPA. Guía del ciudadano: Medidas fito correctivas [online]. Estados unidos: EPA, 1996. p. 1 Disponible en <http://www.hrsc.org/hrschtml/tocs/tosc/sswtosc/brownfields/frames/documents/brownfields/remediation/communityguides/spanishphyto.pdf>

EVALUACION DE METALES PESADOS EN ESPECIES FORESTALES. Facultad de Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas Universidad de Chile. [on line] disponible en [.http://146.83.41.79/profesor/verolagos/d01i11034/doc/foliar.doc](http://146.83.41.79/profesor/verolagos/d01i11034/doc/foliar.doc)

GERHARDS, Charles C. Physical and mechanical properties of blackbutt eucalyptus grown in Hawaii 19 ed. Madison: U. S. Department of Agriculture. Forest Service, 1966. 8p

GIRALDO, Eugenio. Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios Avances recientes. Revista de ingeniería Universidad de los Andes. Bogota Colombia. Nov 2001 # 14. 45p

HERNÁNDEZ, Rubén. Nutrición mineral de las plantas, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes - Mérida – Venezuela [on line] disponible en <http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá: IGAC Subdirección agrícola. 1979. 664 p

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Papel: formatos. Bogotá: ICONTEC, 2005. 23p

MESKIMEN George. Myrtaceae Familia de los mirtos disponible en: <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Eucalyptusgrandis.pdf>

PERKIN ELMER INSTRUMENT. Analytical methods for atomic absorption spectrometry. 2000. 300p

PULGAR. Javier. El Eucalipto. 2 ed. Bogotá Colombia: Ministerio de agricultura.1955. 188p

REAL Academia Española. Diccionario panhispánico de dudas [on line] disponible en <http://www.rae.es/>

ROBLES, Fabián et al. Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios. Instituto politécnico nacional, 2005.108p

SUARES RUIZ, Pedro Alejandro. Metodología de la investigación. Diseños y técnicas. Bogotá: Orión Editores Ltda, 2001. 218p

TCHOBANOGLIOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. 2 ed. Madrid España: Mc Graw Hill, 1994.

ANEXOS

ANEXO A. REGISTRO DE TEMPERATURA.

FECHA d/m/a	T° MAX ACUM	T° MAX ACT	T° MIN ACUM	T° MIN ACT
16/01/06	39	20	11	22
18/01/06	42	31	12	30
20/01/06	37	26	12	36
23/01/06	35	31,5	10	32
25/01/06	30,3	18	11,3	22
27/01/06	34	22	24	11
30/01/06	30	30	12	31
01/02/06	35	14	11,5	16,5
03/02/06	32	19,5	13,5	23
06/02/06	27	14	8	15
08/02/06	30	16,3	9	17
10/2/06	33	11	9	18
13/02/06	30	21	10	21
15/02/06	32	19,5	10	24
17/02/06	31,3	16,7	11	22
20/02/06	28	27	21	28
22/02/06	20,7	13,7	15	15,4
24/02/06	28	18	10,3	19,5
27/02/06	19,7	17,7	20,5	21,3
01/03/06	37	12	11	18
03/03/06	29	16	11	7
06/03/06	30,5	24,5	16,5	25
08/03/06	32	19	10,5	20
10/03/06	28	18	11	18
13/03/06	31	24	9	25
15/03/06	30	15	9	16
17/03/06	20	14	13	18
21/03/06	24	11	11	16
23/03/06	25	22	10	23
25/03/06	31	12	9	13
27/03/06	27	31	27	11
29/03/06	30	30	29	11
31/03/06	34	20	10	21
03/04/06	13	17,8	12,7	17
05/04/06	16	31	15	8

FECHA d/m/a	T° MAX ACUM	T° MAX ACT	T° MIN ACUM	T° MIN ACT
07/04/06	29	18	8	19
10/04/06	18	32	17	9
11/04/06	17	27	16	11
12/04/06	29	17	9	21
17/04/06	16	19	14	6
19/04/06	19	30	9	19
21/04/06	17	31	16	8
24/04/06	24	28	15	10
26/04/06	18	18	17	8
28/04/06	21,3	31	18,5	9
02/05/06	24	29	23	9
04/05/06	15,7	28,5	16	9
06/05/06	24	26	16,5	11
8/5/2006	17	26	19	11
10/05/06	20	25,6	16	12,5
12/05/06	25	20	17	12
15/05/06	23,5	30	15,5	18
17/05/06	23	30,3	16	13
19/05/06	23	23	19	15
22/05/06	20	22	8	19
24/05/06	21,7	24	14	11,5
26/05/06	20	27	17,5	16
30/05/06	19	23	11	11
01/06/06	20	20	12	9
05/06/06	19	18	11,5	11
07/06/06	18	24,7	15	14
09/06/06	20,3	18	13,3	16

ANEXO B. TOMA DE DATOS Y OBSERVACIONES.

FECHA D/M/A	OBSERVACIONES.	REGISTRO FOTOGRAFICO
10/01/06	Inicio de la etapa de invernadero todos los experimentos se llevan a la condición inicial. Se realizo la caracterización morfológica inicial	
11/01/06	Toma de peso de todas las especies, no se aprecian cambios en las plantas.	
12/01/06	Hay cambio en el color del experimento A3 y A6	N/A
13/01/06	No se observan cambios	N/A
14/01/06	Se presenta disminución en el peso de todos los experimentos	N/A
16/01/06	Hay cambio en la textura de las hojas del experimento C3, A1 y B6	N/A
18/01/06		N/A
20/01/06	Se rocían las hojas de todas las especie con un aspersor	N/A
23/01/06	Se presentan puntos rojas en la mayoría de las hojas de todas las especies por quemaduras (efecto lupa)	
25/01/06	No se han presentado variaciones en el peso de los experimentos de la especie B	N/A
27/01/06	Se agregaron 1000 g de lixiviado a los experimentos B1, B2, y B3 y 1000 g a los testigos	N/A
30/01/06	Hay presencia de moscas en el invernadero. Y cambio habitual del peso.	N/A
01/02/06	Se presenta perdida de hojas en la especie A. pero en especial en el experimento A1	
03/02/06	Los experimentos C2, C3, y C4 no han presentado variación en el peso con respecto a la lectura anterior	
06/02/06	Se agregaron 1000 g de lixiviado al experimento C2. En el experimento C3 aun se observa muestra de lixiviado.	

FECHA D/M/A	OBSERVACIONES.	REGISTRO FOTOGRAFICO
08/02/06	B2, B3, B5, y B6 no presentaron cambios en el peso el experimento B2 mostró aumento en el peso (se asume error en la lectura anterior). Se agregaron 750 g de lixiviado y 825 g de agua a los evaporímetros.	N/A
10/02/06	A1 y A2 no presentan variación en el peso. se le agregaron 1000 g de agua a C2 y a C3 y 1000 g de agua a C4, C5, y C6	N/A
13/02/06	Se evidencia pérdida de hojas en la especie C. no hay variación de peso en A1, A2, A3, A4, A5, Y A6.	
15/02/06	Se Presentó la misma situación que en la lectura anterior de la especie A	N/A
17/02/06	Le fueron agregados 1000 g de lixiviado a los experimentos de la especie A y 1000 g de agua a los testigos de esta misma.	N/A
20/02/06	Se observa la formación de una capa clara en el experimento B1 (se asume que son hongos)	
22/02/06	No se presenta variación en el peso de los experimentos de la especie B.	N/A
24/02/06	Le fueron agregados 1000 g de lixiviado a los experimentos de la especie B y 1000 g de agua a los testigos de B. Las hojas de la especie A presentan desmejora.	N/A
27/02/06	Segunda caracterización morfológica.	
01/03/06	Hay babosas en el invernadero.	N/A
03/03/06	Se presentan señas de sequedad en algunas hojas del experimento B1.	
06/03/06	Se esparció veneno para las babosas.	N/A
08/03/06	Hay pérdida de hojas en la especie B	N/A
10/03/06	Se hicieron cortes en las paredes del invernadero para tener una mejor ventilación	N/A
13/03/06	Ya no hay babosas en el invernadero.	N/A

FECHA D/M/A	OBSERVACIONES.	REGISTRO FOTOGRAFICO
15/03/06	Hay una formación de nata en el lixiviado del experimento B3.	
17/03/06	Las hojas de los experimentos semi – líquido y líquido cada día se ven mas estresadas.	N/A
21/03/06	No se Presentó cambio en C2. se observa mucha perdida de humedad en las hojas de la especie A	
23/03/06	Se agregaron 1000 g de lixiviado a C2. C1, C3, C4, Y C6 no presentaron variación en el peso	N/A
25/03/06	Se les agrego lixiviado o agua (según correspondiera) a C1, C3, C4, Y C6. Los experimentos A1, A2, A4 no modificaron su peso.	N/A
27/03/06	A1 y A2 se les adicono 1000 g de lixiviado (c/u). A4 se le agrego 1000 g de agua.	N/A
29/03/06	B4 no se le modifiko el peso.	N/A
31/03/06	Le fueron añadidos 1000 g de agua a A5 y a B4	N/A
03/04/03	Se le agregaron 1000 g al experimento A3. A6, B1, Y B2 no mostraron cambio en sus pesos.	
05/04/06	Se le adicono 1000 g de agua a A6, A B1 Y B2 se le agrego 1000 g de lixiviado. B5 Y B6 no presentaron cambio en el peso.	N/A
07/04/06	Se adicionaron 1000 g de agua a B5 y a B6	N/A
10/04/06	Variación normal en el peso de los experimentos.	N/A
11/04/06	Los experimentos B1 y B4 son los únicos que muestran variación del peso.	N/A
12/04/06	Se nota la perdida de hojas en la especie B. el experimento B3 no modifiko su peso.	
17/04/06	Se adicionaron 1000 g de lixiviado a B3	N/A
19/04/06	Se observó cambio en el color de las hojas de C3 y C6	
21/04/06	La especie A esta empeorando	N/A
24/04/06	Variación normal en el peso de los experimentos.	N/A

FECHA D/M/A	OBSERVACIONES.	REGISTRO FOTOGRAFICO
26/04/06	Tercera caracterización morfológica. Comportamiento normal en la variación del peso de las especies.	
28/04/06	La especie A empeora. Las otras dos especies siguen presentando variación sustancial en el peso en el peso.	
02/05/06	Adición de 1000 g de lixiviado a C2. No hay variación en el peso de B1 y C1	N/A
04/05/06	No hay variación en el peso de B1, B4, y C1	N/A
06/05/06	Se le agregan 1000 g a C1	N/A
08/05/06	Adición de 1000 g de lixiviado a B1. No se Presentó variación en el peso de B4	N/A
10/05/06	Adición de 1000 g de agua a B4. Las hojas de C3 y C6 han cambiado de color. Adición de agua y lixiviado a los evaporímetros.	
12/05/06	No se presenta variación de peso en C6	N/A
15/05/06	No hay variación del peso en B6 y C6	N/A
17/05/06	Se finaliza la experimentación con la especie A por que esta falleció. Adición de agua a B6 (aun se observa algo de lixiviado en el contador de C6)	
19/05/06	Adición de agua a C6	
22/05/06	No se presenta variación de peso en C3. se observa cambio en el color de las hojas de B2	N/A
24/05/06	Ultima caracterización morfológica	

FECHA D/M/A	OBSERVACIONES.	REGISTRO FOTOGRAFICO
26/05/06	Comportamiento normal en el peso de los experimentos.	N/A
30/05/06	No se presentó cambio en el peso de B3.	N/A
1/06/06	Las hojas de la especie C están empeorando en especial las del experimento líquido. B3 no Presentó cambio en el peso	N/A
05/06/06	Una precipitación derrumbo un costado del techo del invernadero añadiendo peso a C3 y C6 Adición de 1000 g de lixiviado a B3	N/A
07/06/06	Disminución normal en el peso de los experimentos.	
09/06/06	Fin de la evaluación. Se tomaron datos finales y se trasladaron los árboles para su posterior análisis.	

ANEXO C. PROCEDIMIENTO EN EL LABORATORIO PARA LA PREPARACIÓN DE LAS DIGESTIONES.²⁸

Determinación de metales en tejidos vegetales.

1. Seque la muestra fresca de tejido vegetal en una estufa a una temperatura de 70° C durante 24 horas.
2. Posteriormente muele la muestra en un molino de acero inoxidable.
3. Pese 2 g de la muestra seca y molida y póngala en un crisol, para llevar a cabo la digestión.
4. Coloque el crisol con la muestra en una mufla a una temperatura de 475° C durante 5 horas.
5. Deje enfriar y agregue 4 ml de HCl 1:1.
6. Evapore muy lentamente en una plancha de calentamiento, sin dejar secar la totalidad de la muestra.
7. Deje enfriar y adicione 2 ml de HCl 1:1.
8. Filtre y lave el contenido del crisol con agua caliente.
9. Lleve el filtrado a un volumen de 50 ml con agua destilada en un balón aforado.
10. Determine los elementos por espectrofotometría de absorción atómica.

²⁸ INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá: IGAC Subdirección agrícola. 1979. 664 p

ANEXO D. PROCEDIMIENTO PARA LA LECTURA DE METALES EN EL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.²⁹

Lectura de Metales.

La lectura de las muestras se realizó por espectrofotometría de absorción atómica utilizando llama de aire acetileno – óxido Nitroso para el caso del Hierro y llama de aire acetileno para el caso de los demás metales por medio del siguiente procedimiento:

1. Preparar los patrones y los blancos.
2. Encender el equipo de absorción atómica, la UPZ y el computador.
3. Activar el software AAWINLAB.
4. Seleccionar el método para el análisis a realizar (File-New Method), seguir las instrucciones en pantalla.
5. Seleccionar la lámpara de cátodo hueco de trabajo revisando la corriente a la cual se debe trabajar , así como :
 - Posición en la cual se coloca la lámpara de cátodo hueco
 - Corriente de la lámpara
 - Pico de absorción atómica
6. Realizar la alineación de la señal de la lámpara y el quemador, mediante una tarjeta o papel que tenga inserta una cruz perfectamente horizontal y vertical a 90° entre vértice y vértice y ajuste la señal de la lámpara de manera que el haz emitido coincida con el centro de la cruz y la tarjeta debe ubicarse sobre el quemador alineada en su centro y el centro de la lámpara. (centro del quemador, centro de la ranura).

²⁹ PERKIN ELMER INSTRUMENT. Analytical methods for atomic absorption spectrometry. 2000. 300p

7. Abrir el menú principal del Icono correspondiente a la llama, colocar agua destilada en el capilar de absorción de la llama y en el botón de encendido iniciar la llama.
8. Conectar el extractor de gases.
9. Abrir la ventana del software de “Gráficos Continuos”, una vez allí, colocar el capilar en agua desionizada y leer autozero.
10. Ajustar la posición del quemador y de la llama utilizando como solución de prueba una solución de concentración máxima que varía según el patrón del metal preparado, mediante el siguiente procedimiento:
 - Mover la perilla de movimiento horizontal del quemador hasta obtener el máximo de absorbancia.
 - Mover la perilla de ángulo del quemador hasta obtener el máximo de absorbancia.
 - Mover la perilla de ajuste vertical hasta obtener el máximo de absorbancia.
11. Ajustar el Nebulizador girando hacia la izquierda hasta obtener un burbujeo, detenerse allí, y observando la pantalla ajustar virando el Nebulizador hacia la derecha hasta obtener el máximo de absorbancia.
12. Modificar el flujo de combustible , ajustando al máximo de absorbancia, el flujo ideal de Acetileno se optimiza para cada metal, al igual que el flujo de Aire hasta obtener una absorbancia cercana o mayor a 0.200 %
13. Abrir METHODS y digitar las concentraciones de los estándares de acuerdo al metal en calibración y la concentración del Reslope (estándar intermedio). Colocar curva de calibración lineal.
14. Abrir las ventanas de trabajo manual, resultados y curva de calibración lineal.
15. Analizar el blanco hasta que la absorbancia medida sea igual a cero.
16. Construir la curva de calibración con los estándares y observar que la grafica sea lineal y el coeficiente de correlación sea lo más cercano a uno.

17. Leer el reslope como estándar y en mg/Lt como muestra para tener un control de calidad.
18. Leer las muestras y después de cada lectura limpiar el capilar con agua desionizada.
19. Imprimir los datos y apagar el equipo.

ANEXO E. CARACTERIZACIONES MORFOLOGICAS.

semana 1				
Experimento	H tallo (cm)	Ø tallo (cm)	# de ramas	# de hojas
A1	110	0.8	24	86
A2	108	0.6	19	105
A3	108	0.8	14	99
A4	107	0.8	13	123
A5	114	0.75	7	63
A6	104	0.85	13	159
B1	50	0.8	17	*211
B2	55	0.8	19	*222
B3	42	0.7	15	*198
B4	43	0.75	18	*188
B5	52	0.8	17	*202
B6	43	0.8	18	*178
C1	108	1.15	15	69
C2	110	2.1	7	88
C3	103	1.5	5	82
C4	129	2.1	18	197
C5	118	1.6	6	81
C6	96	1.1	10	80

semana 8				
Experimento	H tallo (cm)	Ø tallo (cm)	# de ramas	# de hojas
A1	110	0.8	24	77
A2	108	0.6	19	96
A3	108	0.8	14	84
A4	108	0.8	13	110
A5	114	0.75	7	63
A6	104	0.85	13	134
B1	50	0.8	17	*212
B2	55	0.8	19	*226
B3	42	0.7	15	*201
B4	43	0.75	18	*184
B5	52	0.8	17	*200
B6	43	0.8	18	*173
C1	108	1.15	15	69
C2	110	2.1	7	88
C3	103	1.5	5	82
C4	129	2.1	18	197
C5	118	1.7	6	81
C6	96	1.1	10	80

semana 16				
Experimento	H tallo (cm)	Ø tallo (cm)	# de ramas	# de hojas
A1	110.5	0.8	24	73
A2	108.2	0.6	19	92
A3	108	0.8	14	78
A4	109.2	0.8	13	108
A5	114	0.75	7	50
A6	104	0.85	12	145
B1	50.5	0.8	17	*202
B2	55	0.8	19	*218
B3	42.1	0.7	15	*190
B4	43.5	0.75	18	*184
B5	52.5	0.8	17	*196
B6	43.1	0.8	18	*165
C1	108.3	1.15	15	62
C2	110.1	2.1	7	84
C3	103.2	1.5	5	82
C4	129.5	2.1	18	194
C5	118	1.7	6	81
C6	96	1.1	10	76

semana 22				
Experimento	H tallo (cm)	Ø tallo (cm)	# de ramas	# de hojas
A1	110.5	0.8	24	73
A2	108.2	0.6	19	92
A3	108	0.8	14	78
A4	108.2	0.8	13	108
A5	114	0.75	7	50
A6	104	0.85	12	145
B1	50.5	0.85	17	*198
B2	55	0.8	19	*203
B3	42.1	0.7	15	*182
B4	43.5	0.75	18	*184
B5	52.5	0.8	17	*188
B6	43.1	0.8	18	*158
C1	108.3	1.15	15	60
C2	110.1	2.1	7	81
C3	103.2	1.5	5	74
C4	129.5	2.2	18	192
C5	118	1.7	6	77
C6	96	1.1	10	70

ANEXO F. COMPORTAMIENTO DIARIO DEL PESO DE LA ESPECIE A.

	SEMANA 1				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
A1	5950g	5875g	5800g	5750g	5625g
A2	4425	4350	4275	4225	4125
A3	2250	2200	2150	2100	2000
A4	5950	5875	5800	5750	5650
A5	4550	4475	4400	4350	4250
A6	2250	2200	2150	2100	2000

	SEMANA 2			SEMANA 3		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	5425g	5300g	5200g	4950g	4850g	4750g
A2	3900	3775	3675	3425	3325	3225
A3	1800	1700	1625	1375	1275	1175
A4	5425	5300	5200	4950	4850	4750
A5	4025	3900	3800	3550	3450	3350
A6	1775	1650	1550	1300	1200	1100

	SEMANA 4			SEMANA 5		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	4600g	4525g	4475g	4350g	4275g	4275g
A2	3075	3000	2950	2825	2750	2750
A3	1025	950	900	775	700	650
A4	4600	4525	4475	4375	4300	4250
A5	3200	3125	3075	2950	2875	2825
A6	950	875	825	700	625	575

	SEMANA 6			SEMANA 7		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	4275g	4275g	5275g	5175g	5075g	4975g
A2	2750	2750	3750	3650	3550	3450
A3	650	650	1650	1550	1450	1350
A4	4250	4250	5250	5150	5050	4950
A5	2825	2825	3825	3725	3625	3525
A6	575	575	1575	1475	1375	1275

	SEMANA 8			SEMANA 9		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	4875g	4825g	4725g	4675g	4625g	4575g
A2	3350	3300	3200	3125	3075	3050
A3	1250	1200	1100	1075	1050	1025
A4	4850	4825	4750	4700	4650	4600
A5	3450	3425	3350	3325	3275	3250
A6	1200	1175	1100	1075	1050	1025

	SEMANA 10			SEMANA 11		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
A1	4525g	4475g	4425g	4250g	4225g	4225g
A2	3000	2975	2925	2775	2750	2750
A3	975	950	900	750	725	700
A4	4550	4525	4475	4275	4250	4250
A5	3175	3150	3100	2950	2925	2875
A6	975	950	900	750	725	700

	SEMANA 12			SEMANA 13		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	5225g	5175g	5150g	5075g	5050g	5025g
A2	3750	3700	3700	3625	3600	3575
A3	675	625	650	1650	1625	1600
A4	5250	5225	5200	5100	5075	5050
A5	2850	2825	3825	3750	3725	3700
A6	675	625	600	600	1600	1575

	SEMANA 14			SEMANA 15		
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	4900g	4900g	4875g	4800g	4775g	4750g
A2	3475	3475	3450	3375	3350	3325
A3	1500	1500	1475	1400	1375	1350
A4	4925	4925	4900	4825	4800	4775
A5	3575	3575	3550	3500	3475	3450
A6	1450	1450	1425	1375	1350	1325

	SEMANA 16			SEMANA 17		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
A1	4725g	4725g	4725g	4725g	4700g	4700g
A2	3300	3300	3300	3300	3300	3300
A3	1325	1325	1325	1325	1325	1325
A4	4725	4700	4675	4725	4725	4725
A5	3425	3425	3425	3425	3425	3425
A6	1300	1300	1300	1300	1300	1300

	SEMANA 18			SEMANA 19		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	4700g	4700g	4700g	4700g	4700g	4700g
A2	3300	3300	3300	3300	3300	3300
A3	1325	1325	1325	1325	1325	1325
A4	4725	4725	4725	4725	4725	4725
A5	3425	3425	3425	3425	3425	3425
A6	1300	1300	1300	1300	1300	1300

	SEMANA 18			SEMANA 19		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	4700g	4700g	4700g	4700g	4700g	*
A2	3300	3300	3300	3300	3300	*
A3	1325	1325	1325	1325	1325	*
A4	4725	4725	4725	4725	4725	*
A5	3425	3425	3425	3425	3425	*
A6	1300	1300	1300	1300	1300	*

	SEMANA 20			SEMANA 21			SEMANA 22
	MARTES	JUEVES	SABADO	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	
A1	*	*	*	*	*	*	*
A2	*	*	*	*	*	*	*
A3	*	*	*	*	*	*	*
A4	*	*	*	*	*	*	*
A5	*	*	*	*	*	*	*
A6	*	*	*	*	*	*	*

ANEXO G. COMPORTAMIENTO DIARIO DEL PESO DE LA ESPECIE B.

	SEMANA 1				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
B1	5400g	5325g	5250g	5200g	5100g
B2	3475	3400	3325	3275	3175
B3	1350	1300	1225	1175	1050
B4	4950	4875	4800	4750	4650
B5	3450	3375	3300	3250	3175
B6	1200	1150	1075	1025	925

	SEMANA 2			SEMANA 3		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	4875g	4750g	4750g	4725g	4725g	5725g
B2	2950	2825	2775	2775	2775	3775
B3	900	800	725	650	650	1650
B4	4425	4300	4200	4200	4200	5200
B5	2925	2800	2725	2700	2700	3700
B6	700	575	500	400	400	1400

	SEMANA 4			SEMANA 5		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	5575g	5525g	5475g	5325g	5225g	5175g
B2	3625	3575	3525	3375	3275	3225
B3	1500	1450	1400	1250	1175	1125
B4	5050	5000	4950	4800	4700	4650
B5	3550	3500	3450	3300	3200	3150
B6	1250	1200	1150	1000	925	875

	SEMANA 6			SEMANA 7		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	5000g	4900g	4775g	4625g	4625g	5825g
B2	3050	2950	2825	2725	2725	3925
B3	975	875	750	650	650	1850
B4	4475	4375	4275	4275	4275	5475
B5	3000	2900	2775	2625	2625	3825
B6	750	650	525	500	500	1700

	SEMANA 8			SEMANA 9		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	5625g	5550g	5425g	5350g	5300g	5250g
B2	3725	3650	3525	3450	3400	3350
B3	1650	1600	1475	1425	1400	1375
B4	5275	5225	5125	5100	5050	4975
B5	3625	3575	3475	3400	3350	3300
B6	1500	1450	1350	1300	1225	1200

	SEMANA 10			SEMANA 11		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
B1	5125g	5050g	4975g	4725g	4650g	4600g
B2	3250	3175	3125	2900	2825	2775
B3	1275	1225	1175	1025	975	950
B4	4875	4800	4725	4500	4425	4375
B5	3225	3175	3100	2950	2925	2900
B6	1100	1050	975	825	750	700

	SEMANA 12			SEMANA 13		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	4525g	4450g	4400g	4400g	5400g	5325g
B2	2725	2725	2725	3725	4725	4675
B3	925	900	900	800	750	675
B4	4325	4325	5325	5200	5150	5075
B5	2850	2800	2800	2700	2700	3700
B6	650	600	600	500	500	1500

	SEMANA 14			SEMANA 15		
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	5175g	5150g	5100g	4975g	4900g	4825g
B2	4525	4525	4475	4400	4325	4250
B3	650	650	650	1650	1600	1550
B4	4900	4875	4850	4750	4675	4600
B5	3525	3525	3500	3400	3325	3250
B6	1325	1325	1275	1175	1100	1025

	SEMANA 16			SEMANA 17		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
B1	4700g	4625g	4550g	4400g	4400g	4400g
B2	4125	4075	4000	3900	3850	3750
B3	1450	1400	1375	1275	1225	1125
B4	4475	4425	4350	4350	4350	5350
B5	3175	3150	3075	2950	2900	2775
B6	925	875	850	725	700	650

	SEMANA 18			SEMANA 19		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	5400g	5350g	5250g	5125g	5050g	4975g
B2	3650	3625	3525	3425	3350	3275
B3	1025	1000	950	850	800	775
B4	5225	5200	5175	5050	5000	4950
B5	2675	2650	2600	2600	2600	3600
B6	575	550	550	550	1550	1525

	SEMANA 20			SEMANA 21		
	MARTES	JUEVES	SABADO	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	4900g	4825g	4750g	4575g	4500g	4450g
B2	3200	3150	3100	2925	2875	2825
B3	725	675	650	650	650	1650
B4	4900	4800	4775	4650	4575	4500
B5	3550	3500	3475	3375	3325	3275
B6	1450	1375	1350	1250	1200	1150

	SEMANA 22		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	4350g	4300g	4275g
B2	2725	2700	2700
B3	1575	1525	1500
B4	4325	4250	4200
B5	3150	3050	3000
B6	1025	950	925

ANEXO H. COMPORTAMIENTO DIARIO DEL PESO DE LA ESPECIE C.

	SEMANA 1				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
C1	6875g	6800g	6775g	6725g	6625g
C2	7375	7300	7275	7225	7125
C3	2700	2625	2600	2550	2450
C4	6975	6950	6925	6875	6775
C5	7300	7275	7250	7200	7100
C6	2750	2725	2700	2650	2550

	SEMANA 2			SEMANA 3		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	6425g	6325g	6250g	6125g	6050g	5975g
C2	6950	6850	6775	6650	6575	6500
C3	2275	2175	2100	1950	1875	1800
C4	6600	6500	6425	6300	6225	6150
C5	6900	6800	6725	6600	6525	6450
C6	2375	2275	2200	2075	2000	1925

	SEMANA 4			SEMANA 5		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	5875g	5850g	5800g	5700g	5700g	6700g
C2	6400	6375	6375	7375	7350	7300
C3	1725	1700	1700	1700	1700	2700
C4	6025	6000	6000	6000	6000	7000
C5	6350	6325	6275	6175	6200	7200
C6	1850	1825	1775	1650	1650	2650

	SEMANA 6			SEMANA 7		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	6525g	6475g	6375g	6300g	6275g	6250g
C2	7125	7075	7000	6925	6900	6875
C3	2525	2475	2400	2325	2300	2275
C4	6875	6825	6725	6675	6550	6500
C5	7050	7025	6950	6900	6800	6775
C6	2550	2500	2425	2375	2275	2250

	SEMANA 8			SEMANA 9		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	6150g	6100g	5975g	5925g	5900g	5850g
C2	6775	6725	6625	6600	6575	6550
C3	2175	2125	2025	1975	1950	1925
C4	6400	6350	6275	6225	6200	6175
C5	6700	6650	6575	6525	6500	6475
C6	2175	2125	2050	2025	2000	1975

	SEMANA 10			SEMANA 11		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
C1	5775g	5725g	5675g	5675g	6675g	6600g
C2	6475	6450	6375	6225	6225	7225
C3	1875	1850	1775	1625	1625	2625
C4	6100	6050	5975	5975	6975	6925
C5	6400	6350	6300	6300	6300	7300
C6	1900	1850	1775	1700	1700	2700

	SEMANA 12			SEMANA 13		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	6550g	6500g	6475g	6375g	6325g	6275g
C2	7175	7125	7100	7025	6975	6925
C3	2600	2575	2550	2475	2450	2400
C4	6875	6800	6775	6700	6650	6600
C5	7250	7200	7175	7075	7025	6975
C6	2650	2600	2575	2500	2475	2425

	SEMANA 14			SEMANA 15		
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	6150g	6150g	6075g	5975g	5925g	5875g
C2	6800	6800	6775	6675	6625	6575
C3	2300	2300	2275	2200	2150	2100
C4	6450	6450	6400	6325	6275	6200
C5	6800	6800	6775	6700	6650	6600
C6	2275	2275	2250	2175	2150	2100

	SEMANA 16			SEMANA 17		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
C1	5775g	5725g	5650g	6650g	6625g	6600g
C2	6475	6425	6375	6275	6275	7275
C3	2025	1975	1925	1825	1800	1775
C4	6100	6050	6000	6000	6000	7000
C5	6550	6500	6450	6300	6275	6275
C6	2000	1950	1900	1775	1750	1725

	SEMANA 18			SEMANA 19		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	6525g	6500g	6425g	6325g	6275g	6250g
C2	7225	7175	7125	7050	7000	6975
C3	1725	1700	1675	1675	1675	2675
C4	6925	6875	6825	6725	6675	6650
C5	6275	7275	7225	7125	7100	7075
C6	1700	1700	1700	2700	2675	2650

	SEMANA 20			SEMANA 21		
	MARTES	JUEVES	SABADO	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	6225g	6175g	6125g	5975g	5900g	5850g
C2	6925	6875	6825	6675	6600	6575
C3	2650	2600	2550	2425	2350	2325
C4	6575	6500	6500	6350	6275	6200
C5	7050	6975	6950	6825	6775	6725
C6	2625	2575	2550	2425	2375	2325

	SEMANA 22		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	5775g	5725g	5700g
C2	6500	6450	6425
C3	2925	2900	2875
C4	6050	5950	5875
C5	6575	6475	6450
C6	2950	2875	2850

ANEXO I. CORRELACIONES ENTRE LAS ESPECIES.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C2	C1	C3	C5	C4	C6
A1	1																	
A2	0,9927189	1																
A3	0,82321267	0,83745229	1															
A4	0,9985508	0,99339190	0,81649327	1														
A5	0,89296680	0,89721622	0,9401037	0,88995796	1													
A6	0,79265220	0,80507050	0,94772490	0,78652030	0,89840592	1												
B1	-0,00543780	0,04784607	0,10889040	0,00983630	0,07570500	0,16746709	1											
B2	-0,05607010	0,00180930	0,23755400	0,05532502	0,10638630	0,28931650	0,46309972	1										
B3	-0,14260910	0,17159200	0,10222530	0,15753910	0,09741100	0,04689410	0,28388250	0,23657549	1									
B4	-0,02818010	0,01043140	0,04612910	0,00949370	0,10526650	0,00220680	0,67974520	0,44796090	0,20796578	1								
B5	-0,00401060	0,03180600	0,05200450	0,00052050	0,04477290	0,10076460	0,50189290	0,42323260	0,41441190	0,38549009	1							
B6	-0,04449400	0,05497700	0,05194530	0,03407670	0,0324020	0,11143630	0,48262870	0,38198100	0,35734030	0,46884740	0,89532832	1						
C2	0,38749670	0,39131870	0,22443890	0,39389020	0,27440440	0,19084090	0,18552570	0,10036470	0,33559000	0,83706590	0,19363040	0,17305876	1					
C1	0,49963940	0,51597210	0,3591600	0,49927160	0,40774750	0,34110540	0,00545600	0,09483920	0,34080510	0,06414140	0,30107040	0,30050520	0,62538138	1				
C3	0,55493770	0,55752950	0,30948620	0,57112800	0,39764160	0,26013190	0,30089420	0,25357610	0,15004750	0,23329180	0,15105410	0,09871510	0,34072070	0,28735532	1			
C5	0,53699920	0,55790200	0,34117800	0,54669370	0,40593210	0,30283990	0,00627780	0,14461970	0,41200090	0,07109740	0,14390470	0,07493310	0,67473010	0,64795020	0,60268917	1		
C4	0,40842740	0,42820800	0,25647960	0,4134610	0,30672130	0,23214300	0,06581300	0,13319000	0,43530600	0,18575170	0,29656760	0,24637280	0,77242910	0,86677600	0,33822880	0,76920188	1	
C6	0,5582850	0,56588980	0,34346210	0,57140490	0,41963940	0,30168750	0,24754800	0,30019960	0,22554780	0,18228510	0,0112210	0,09482300	0,39159640	0,34056730	0,88574350	0,71567810	0,42013578	1

ANEXO J. COMPORTAMIENTO DIARIO DE LA EVAPORACION.

	SEMANA 1				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
Ev Lix	900g	850g	825g	775g	700g
Ev H ₂ O	900	875	850	800	725

	SEMANA 2			SEMANA 3		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
Ev Lix	575g	500g	450g	350g	325g	325g
Ev H ₂ O	575	500	450	325	300	250

	SEMANA 4			SEMANA 5		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
Ev Lix	275g	250g	250g	150g	900g	850g
Ev H ₂ O	200	175	175	75	900	850

	SEMANA 6			SEMANA 7		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
Ev Lix	700g	675g	625g	550g	525g	500g
Ev H ₂ O	750	725	700	650	550	525

	SEMANA 8			SEMANA 9		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
Ev Lix	400g	350g	250g	225g	200g	175g
Ev H ₂ O	450	425	350	325	300	275

	SEMANA 10			SEMANA 11		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
Ev Lix	125g	100g	900g	750g	725g	700g
Ev H ₂ O	225	200	150	900	875	850

	SEMANA 12			SEMANA 13		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
Ev Lix	675g	650g	650g	575g	550g	525g
Ev H ₂ O	825	800	800	725	700	675

	SEMANA 14			SEMANA 15		
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
Ev Lix	425g	425g	400g	325g	300g	275g
Ev H ₂ O	550	550	525	475	450	425

	SEMANA 16			SEMANA 17		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
Ev Lix	250g	225g	200g	100g	100g	75g
Ev H ₂ O	400	375	350	225	200	175

	SEMANA 18			SEMANA 19		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
Ev Lix	25g	900g	875g	800g	750g	725g
Ev H ₂ O	100	900	900	800	775	750

	SEMANA 20			SEMANA 21		
	MARTES	JUEVES	SABADO	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
Ev Lix	725g	700g	650g	525g	475g	450g
Ev H ₂ O	750	700	700	600	550	500

	SEMANA 22		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
Ev Lix	400g	375g	350g
Ev H ₂ O	375	300	275

ANEXO K. RESULTADOS DE LA ABSORCIÓN APARENTE EN LA ESPECIE A

	SEMANA 1					SEMANA 2		
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1		25	50	0	50	75	50	50
A2		25	50	0	25	100	50	50
A3		0	50	0	25	75	25	25
A4		50	50	0	25	75	50	50
A5		50	50	0	25	75	50	50
A6		25	25	0	25	75	50	50

	SEMANA 3			SEMANA 4		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	150	75	100	100	50	50
A2	150	75	100	100	50	50
A3	150	75	100	100	50	50
A4	125	75	50	100	50	50
A5	125	75	50	100	50	50
A6	125	75	50	100	50	50

	SEMANA 5			SEMANA 6		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	25	25	0	0	0	0
A2	25	25	0	0	0	0
A3	25	25	0	0	0	0
A4	0	25	0	0	0	0
A5	25	25	0	0	0	0
A6	25	25	0	0	0	0

	SEMANA 7			SEMANA 8		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	25	75	75	0	0	0
A2	25	75	75	0	0	0
A3	25	75	75	0	0	0
A4	50	0	75	25	0	0
A5	50	0	75	0	0	0
A6	50	0	75	0	0	0

	SEMANA 9			SEMANA 10		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	25	25	25	0	25	0
A2	50	25	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0
A4	25	25	25	0	0	0
A5	0	25	0	25	0	0
A6	0	0	0	0	0	0

	SEMANA 11			SEMANA 12		
	MARTES	JUEVES	SABADO	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	25	0	0	0	25	25
A2	0	0	0	0	25	0
A3	0	0	0	0	25	0
A4	25	0	0	0	0	25
A5	25	0	25	0	0	0
A6	0	0	0	0	25	25

	SEMANA 13			SEMANA 14		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES
A1	0	0	0	25	0	0
A2	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0
A4	25	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0	0
A6	0	0	0	0	0	0

	SEMANA 15			SEMANA 16		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0
A4	25	0	0	25	0	0
A5	0	0	0	0	0	0
A6	0	0	0	0	0	0

	SEMANA 17			SEMANA 18		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
A1	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0	0
A6	0	0	0	0	0	0

	SEMANA 19			SEMANA 20		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
A1	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0	0
A6	0	0	0	0	0	0

	SEMANA 21			SEMANA 22		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
A1	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0
A5	0	0	0	0	0	0
A6	0	0	0	0	0	0

ANEXO L. RESULTADOS DE LA ABSORCIÓN APARENTE EN LA ESPECIE B

	SEMANA 1					SEMANA 2		
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1		25	50	0	25	100	50	0
B2		25	50	0	25	100	50	0
B3		0	50	0	50	25	25	25
B4		50	50	0	25	75	50	50
B5		50	50	0	0	100	50	25
B6		25	50	0	25	75	50	25

	SEMANA 3			SEMANA 4		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	0	0	0	100	25	50
B2	0	0	0	100	25	50
B3	0	0	0	100	25	50
B4	0	0	0	100	25	50
B5	0	0	0	100	25	50
B6	0	0	0	100	25	50

	SEMANA 5			SEMANA 6		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	50	50	0	25	75	75
B2	50	50	0	25	75	75
B3	50	25	0	0	75	75
B4	50	50	0	75	75	75
B5	50	50	0	50	75	100
B6	50	25	0	25	75	100

	SEMANA 7			SEMANA 8		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	75	0	0	100	25	25
B2	25	0	0	100	25	25
B3	25	0	0	100	0	25
B4	0	0	0	125	25	25
B5	100	0	0	125	25	25
B6	0	0	0	125	25	25

	SEMANA 9			SEMANA 10		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	50	25	25	75	50	25
B2	50	25	25	50	50	0
B3	25	0	0	50	25	0
B4	0	25	50	50	50	25
B5	50	25	25	25	25	25
B6	25	50	0	50	25	25

	SEMANA 11			SEMANA 12		
	MARTES	JUEVES	SABADO	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	100	50	25	50	50	50
B2	75	50	25	25	0	0
B3	0	25	0	0	0	0
B4	100	50	25	25	0	0
B5	50	0	0	25	25	0
B6	25	50	25	25	25	0

	SEMANA 13			SEMANA 14		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES
B1	0	0	50	50	25	25
B2	0	0	25	50	0	25
B3	25	25	50	0	0	0
B4	50	25	50	50	25	0
B5	25	0	0	50	0	0
B6	25	0	0	50	0	25

	SEMANA 15			SEMANA 16		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	50	50	50	100	50	50
B2	0	50	50	100	25	50
B3	0	25	25	75	25	0
B4	50	50	50	100	25	50
B5	50	50	50	50	0	50
B6	50	50	50	75	25	0

	SEMANA 17			SEMANA 18		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
B1	50	0	0	0	50	75
B2	0	50	75	50	25	75
B3	0	50	75	50	25	25
B4	0	0	0	50	0	25
B5	0	0	0	25	0	50
B6	0	0	25	0	0	0

	SEMANA 19			SEMANA 20		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
B1	50	25	50	75	50	25
B2	25	25	50	75	25	0
B3	25	0	0	50	25	0
B4	25	25	25	50	50	25
B5	0	0	0	50	0	25
B6	0	0	0	75	25	25

	SEMANA 21			SEMANA 22		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
B1	50	25	25	50	25	0
B2	50	0	25	50	0	0
B3	0	0	0	25	25	0
B4	25	25	25	50	0	25
B5	0	0	0	0	25	25
B6	0	0	0	0	0	0

ANEXO M. RESULTADOS DE LA ABSORCIÓN APARENTE EN LA ESPECIE C.

	SEMANA 1					SEMANA 2		
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1		25	0	0	25	75	25	25
C2		25	0	0	25	50	25	25
C3		25	0	0	25	50	25	25
C4		0	0	0	25	25	25	25
C5		0	0	0	25	50	25	25
C6		0	0	0	25	25	25	25

	SEMANA 3			SEMANA 4		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	25	50	75	50	0	50
C2	25	50	75	50	0	0
C3	50	50	75	25	0	0
C4	0	50	25	75	0	0
C5	0	50	25	50	0	50
C6	0	50	25	25	0	50

	SEMANA 5			SEMANA 6		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	0	25	0	25	25	50
C2	0	25	0	25	25	25
C3	0	25	0	25	25	25
C4	0	25	0	25	25	75
C5	0	25	0	50	0	50
C6	25	25	0	0	25	50

	SEMANA 7			SEMANA 8		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	0	0	0	0	0	25
C2	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0
C4	0	25	25	25	25	0
C5	0	0	0	0	25	0
C6	0	0	0	0	25	0

	SEMANA 9			SEMANA 10		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	25	0	25	25	25	0
C2	0	0	0	25	0	25
C3	25	0	0	0	0	25
C4	25	0	0	25	25	25
C5	25	0	0	25	25	0
C6	0	0	0	25	25	25

	SEMANA 11			SEMANA 12		
	MARTES	JUEVES	SABADO	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	0	0	50	25	25	25
C2	0	0	0	25	25	25
C3	0	0	0	0	0	25
C4	0	0	25	25	50	25
C5	0	0	0	25	25	25
C6	0	0	0	25	25	25

	SEMANA 13			SEMANA 14		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIERCOLES
C1	25	25	25	25	0	50
C2	0	25	25	25	0	0
C3	0	0	25	0	0	0
C4	0	25	25	25	0	25
C5	25	25	25	50	0	0
C6	0	0	25	25	0	0

	SEMANA 15			SEMANA 16		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	25	25	25	75	25	50
C2	25	25	25	75	25	25
C3	0	25	25	50	25	25
C4	25	25	50	75	25	25
C5	25	25	25	25	25	25
C6	25	0	25	75	25	25

	SEMANA 17			SEMANA 18		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
C1	0	25	0	25	25	50
C2	0	0	0	0	50	25
C3	0	25	0	0	25	0
C4	0	0	0	0	25	50
C5	25	0	0	0	0	50
C6	0	0	0	0	0	0

	SEMANA 19			SEMANA 20		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES
C1	25	0	0	25	25	0
C2	0	0	0	50	25	0
C3	0	0	0	25	25	0
C4	0	25	0	75	25	0
C5	0	0	0	25	25	25
C6	0	0	0	25	0	25

	SEMANA 21			SEMANA 22		
	LUNES	MIÉRCOLES	VIERNES	MARTES	JUEVES	SABADO
C1	25	25	25	25	25	0
C2	25	25	0	25	25	0
C3	0	25	0	0	0	0
C4	50	25	25	25	25	50
C5	25	0	0	25	25	0
C6	25	0	0	0	0	0

ANEXO N. RESULTADOS DE LABORATORIO.

Especie B (*Eucalyptus Cinerea*).

	Zinc (Zn) (mg/l)		Cobre (Cu) (mg/l)	
	Experimento.	testigo	Experimento.	testigo
Hojas.	3.451	2.926	0.018	0.018
Tallo.	2.966	2.861	0.648	1.188
Raíz.	2.666	9.931	2.778	2.028
Suelo.	13.451	13.531	5.048	7.048

	Plomo (Pb) (mg/l)		Calcio (Ca) (mg/l)	
	Experimento.	testigo	Experimento.	testigo
Hojas.	4.145	4.01	51.345	30.153
Tallo.	0	0	81.489	93.321
Raíz.	0	0	46.113	43.833
Suelo.	0.1	0	40.038	61.113

	Manganeso (Mn) (mg/l)		Hierro (Fe) (mg/l)	
	Experimento.	testigo	Experimento.	testigo
Hojas.	780.8	687.2	4.181	5.471
Tallo.	647.2	773.6	6.056	6.641
Raíz.	721.6	919.2	61.301	26.756
Suelo.	179.2	376.8	154.166	136.406

	magnesio (Mg) (mg/l)		Potasio (K) (mg/l)	
	Experimento.	testigo	Experimento.	testigo
Hojas.	19.651	20.675	4.394	2.41
Tallo.	20.227	15.779	8.842	35.618
Raíz.	13.891	10.467	3.722	14.594
Suelo.	10.211	18.243	41.378	21.746

Especie C (*Eucalyptus Ficifolia*).

	Zinc (Zn) (mg/l)		Cobre (Cu) (mg/l)	
	Experimento.	testigo	Experimento.	testigo
Hojas.	2.926	2.961	0.018	0.018
Tallo.	4.176	1.246	1.498	0.898
Raíz.	4.461	8.971	1.508	1.498
Suelo.	15.431	14.991	3.848	2.998

	Plomo (Pb) (mg/l)		Calcio (Ca) (mg/l)	
	Experimento.	testigo	Experimento.	testigo
Hojas.	0.62	0	60.363	36.249
Tallo.	0	0	68.865	45.345
Raiz.	0	0	83.385	83.193
Suelo.	0	0	5.553	4.848

	Manganeso (Mn) (mg/l)		Hierro (Fe) (mg/l)	
	Experimento.	testigo	Experimento.	testigo
Hojas.	551.2	619.2	3.266	5.816
Tallo.	900	579.2	5.696	4.886
Raiz.	136.8	83.2	14.576	36.536
Suelo.	316.8	364	124.646	101.771

	magnesio (Mg) (mg/l)		Potasio (K) (mg/l)	
	Experimento.	testigo	Experimento.	testigo
Hojas.	18.627	31.299	4.81	6.89
Tallo.	0.061632	0.052608	60.602	10.346
Raiz.	21.763	16.515	15.914	2.594
Suelo.	5.731	6.915	23.786	8.882

ANEXO O. MUESTRA DE CÁLCULO DE LA ACUMULACIÓN PROMEDIO.

$$Ac = Rex - Rte$$

Donde:

Ac: Acumulación de un elemento.

Rex: Resultado de la concentración en el experimento.

Rte: resultado de la concentración en el testigo.

Acumulación de Cinc (Zn) en las hojas de la especie B.

$$Ac = Rex - Rte$$

$$Ac = 3.451 \text{ mg / l} - 2.926 \text{ mg/ l}$$

$$Ac = 0.525 \text{ mg / l}$$

Especie: B			
	Zinc (Zn) (mg/l)		
	Experimento.	testigo	Diferencia.
Hojas.	3.451	2.926	0.525
Tallo.	2.966	2.861	0.105
Raiz.	2.666	9.931	-7.265
Suelo.	13.451	13.531	-0.08
Promedio	5.6335	7.31225	-1.67875