

PROGRAMA DE DOCTORADO COOPERADO
“DESARROLLO SOSTENIBLE: MANEJOS FORESTAL Y TURÍSTICO”
UNIVERSIDAD DE ALICANTE
UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO
DOCTOR EN CIENCIAS.

Título: “Compostaje de corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell en la obtención de compost como fuente de sustrato para viveros forestales. Pinar del Río, Cuba.”

Autor: MSc. Noarys Pérez Díaz. Universidad de Pinar del Río.

Directores: Dr. Uvaldo Orea Igarza. Universidad de Pinar del Río.

Dra. Iris de la C. Castillo M. Universidad de Pinar del Río.

Dr. Eduardo González I. Universidad de Pinar del Río.

Tutor: Dr. Antonio Escarré. Universidad de Alicante.

Octubre, 2007
Pinar del Río, Cuba.

Dedicatoria

A mi Hijas:

Mi fruto más querido.

A mi Esposo:

Mi apoyo, comprensión y confianza.

A mis Padres:

Mi ejemplo y compromiso.

Agradecimientos

Quisiera expresar mis más sinceros y extensos agradecimientos:

A mi esposo e hijas por su ayuda, confianza, apoyo y optimismo infinito en la elaboración de este trabajo.

A mis colegas del Departamento del departamento de química por su colaboración.

A Uvaldo, Iris y José Manuel por su ayuda siempre enriquecedora e incondicional.

Al Dr. Antonio Escarrés por sus orientaciones y la confianza depositada en mi trabajo

A todos los que por falta de tiempo y espacio no he nombrado pero que están siempre presente, a todos Ustedes, ¡Muchas Gracias!

Resumen

Hoy en día la corteza representa un residuo forestal y sin embargo, posee interesantes posibilidades de aprovechamiento tecnológico. Su transformación, para ser incorporada al propio proceso de producción, repercutiría positivamente en beneficios sociales, económicos y ambientales. Caracterizar el compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell en la obtención de un compost como fuente de sustrato para viveros forestales es el objetivo del presente trabajo. Para su ejecución se determinaron a través de cálculos dasométricos la relación entre los volúmenes de corteza y los volúmenes del árbol sin corteza, lo que permite estimar los volúmenes de corteza producidos en las EFI de Macurijes y Guanahacabibes de la provincia de Pinar del Río. A través de métodos gravimétricos se realizó el estudio del proceso de extracción de la corteza de ambas especies, con diferentes sistemas de solventes (NaOH 1%, agua a 95°C y a temperatura ambiente) y mediante métodos estadísticos se determinó el más eficiente. La influencia de los diferentes medios de extracción en los componentes de la pared celular se realizó a través de los métodos gravimétricos y termogravimétricos. Para la comparación del compostaje de la corteza de dichas especies con previa extracción con hidróxido de sodio al 1% y sin extraer, se monitoreó los parámetros fisicoquímicos del proceso. Los diferentes compost obtenidos y mezclas de ellos con turba se evaluaron en viveros forestales con plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith teniendo en cuenta sus características morfológicas y fisiológicas. Los resultados obtenidos mostraron que el sistema de solvente de NaOH 1% presentaba los valores más altos de sustancias extraíbles, modificando los componentes de la pared celular, lo que ejerce un efecto positivo, aumentando la velocidad de degradación y disminuyendo el tiempo de degradación de las mezclas iniciales en el compostaje. Los compost obtenidos en ambos procesos estudiados, dada sus propiedades físicas y fisicoquímicas, pueden ser utilizados como constituyente medio en la elaboración de sustratos para viveros forestales y permite valorizar la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

INDICE

Contenidos	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I.	7
1.1. Revisión bibliográfica.	7
1.1.1. El eucalipto. Origen y distribución.	7
1.1.2. El eucalipto en Cuba.	8
1.1.3. Importancia y usos de los eucaliptos. la corteza	8
1.1.4. Descripción botánica del género <i>Eucalyptus</i>	10
1.1.4.1. Descripción botánica del <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell	10
1.1.4.2. Descripción botánica del <i>Eucalyptus saligna</i> Smith,	10
1.1.5. Descripción y clasificación de la corteza del género <i>Eucalyptus</i> .	10
1.1. 6. Componentes estructurales de la corteza.	12
1.1.7. Composición química de la corteza del género <i>Eucalyptus</i> .	15
1.1.8. Composición química de la corteza de las especies <i>Eucalyptus saligna</i> Smith, y <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.	16
1.1.9. Composición fenólica y polifenólica de los eucaliptos	17
1.1.10. Método de extracción de taninos.	20
1.1.11. Importancia de los taninos.	21
1.1.12. Alelopatía de los compuestos fenólicos presentes en la corteza	22
1.2. Materiales y métodos	24
1.2.1. Selección del área de investigación.	24
1.2.2. Características del sitio.	25
1.2.3. Determinación de los volúmenes de madera y corteza para las especies <i>Eucalyptus saligna</i> Smith y <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.	26
1.2.3.1. Técnica de medición del diámetro con Forcípula simple.	26
1.2.3.2. Técnica de medición de la corteza con el medidor de corteza.	26
1.2.3.3. Técnica de medición de la altura con el Hipsómetro de Hagar.	26
1.2.4. Toma de las muestras de corteza y preparación para su análisis químico.	27
1.2.5. Análisis químico	28
1.2.5.1. Determinación del contenido de humedad.	28
1.2.5.2. Determinación de las sustancias solubles en agua a temperatura de 95 °C	28
1.2.5.3. Determinación de las sustancias solubles en agua a temperatura ambiente.	28
1.2.5.4. Determinación del contenido de sustancias solubles en NaOH al 1%	29
1.2.5.5. Determinación del contenido de sustancias minerales	29
1.2.5.6. Determinación del contenido de sustancias tánicas.	29

1.2.5.7. Obtención del material libre de extraíble.	30
1.2.5.8. Determinación de lignina insoluble en ácido.	30
1.2.5.9. Determinación de celulosa	30
1.2.5.10. Análisis mediante Calorimetría Diferencial de Barrido. (DSC)	31
1.2.5.11. Análisis termogravimétricos. (TG)	31
1.2.6. Análisis estadístico.	31
1.3. Análisis y discusión	33
1.3.1. Volúmenes de corteza del fuste comercial de las especies <i>Eucalyptus saligna</i> Smith, y <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell de la EFI de Macurije y de Guanahacabibes.	33
1.3.2. Estimado de los volúmenes de corteza producidos	34
1.3.3. Determinación del tamaño de partículas	35
1.3.4. Características de la extracción en agua a temperatura ambiente para la corteza del fuste comercial de las especies <i>Eucalyptus saligna</i> Smith y <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.	37
1.3.5. Características de la extracción en agua a 95°C para la corteza del fuste comercial de las especies <i>Eucalyptus saligna</i> Smith, y <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell	38
1.3.6. Características de la extracción en NaOH al 1 % a de la corteza del fuste comercial de las especies <i>Eucalyptus saligna</i> Smith, y <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.	40
1.3.7. Contenido de sustancias tánicas	43
1.3.8. Extracción a escala de banco en NaOH al 1 % a de la corteza del fuste comercial de las especies <i>Eucalyptus saligna</i> Smith, y <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.	45
1.3.9. Contenidos de lignina y celulosa en el residuo obtenido en la extracción con NaOH de la corteza de las especies <i>Eucalyptus saligna</i> Smith, y <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.	45
1.3.10. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) para la corteza de <i>Eucalyptus saligna</i> Smith extraída en diferentes medios de extracción.	47
1.3.11. Análisis termogravimétrico de la corteza de las especies <i>Eucalyptus saligna</i> Smith, y <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell extraídas en diferentes medios de extracción.	51
1.3.12. Potencialidades de la corteza en Kg./t de <i>Eucalyptus saligna</i> Smith, y <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell,	52
1.4. Conclusiones	53
CAPITULO II.	55
2.1. Revisión bibliográfica.	55
2.1.1. Gestión de los residuos	55
2.1.2. Problemas Medioambientales derivados de la Acumulación de Residuos	56
2.1.3. El compostaje como sistema de tratamiento y adecuación de los residuos orgánicos.	57
2.1.4. Aspectos generales del proceso de compostaje	58

2.1.5. Microbiología del Proceso de compostaje	60
2.1.6. Proceso biológico del compostaje	62
2.1.7. Factores que influyen en el proceso de compostaje	63
2.1.8. Condiciones óptimas del proceso.	66
2.1.9. Sistemas de compostaje	67
2.1.10. Calidad del compost	68
2.1.11. Importancia y uso del compost.	71
2.1.12. Aplicación del compostaje a la obtención de productos alternativos a los sustratos tradicionales.	72
2.2. Materiales y Métodos	74
2.2.1. Montaje de las pilas de compostaje	75
2.2.2. Determinación de los diferentes parámetros físicos-químicos que caracterizan al proceso de compostaje.	76
2.2.4. Análisis estadístico	77
2.3. Análisis y discusión	78
2.3.1. Compostaje de las mezclas de cortezas de las especies <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell y <i>Eucalyptus saligna</i> Smith.	78
2.3.2. Características químicas del material de partida.	78
2.3.3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos que caracterizan al proceso de compostaje en función del tiempo.	80
2.3.3.1. Humedad en el proceso de compostaje.	80
2.3.3.2. Variación de temperatura con el tiempo de compostaje.	80
2.3.3.3. Variación del pH con la edad del compostaje.	82
2.3.3.4. Cambios de la conductividad eléctrica.	84
2.3.3.5. Contenido de sustancias minerales en el compostaje.	85
2.3.3.6. Variación del contenido de materia orgánica con el tiempo de compostaje.	86
2.3.3.7. Comportamiento de la relación C/N en el compostaje.	88
2.3.3.8. Contenido de celulosa en el compostaje.	89
2.3.3.9. Contenido de lignina en el compostaje.	91
2.3.3.10. Madurez del compost.	92
2.3.4. Composición de los composts al final del proceso	93
2.3.5. Análisis Económico	96
2.4. Conclusiones	98
CAPITULO III.	99
3.1. Búsqueda bibliográfica	99
3.1.1. Generalidades sobre viveros	99
3.1.2. Tipos de viveros	99

3.1.3. Viveros en envases	100
3.1.4. Características de los sustratos y su empleo en vivero de contenedores	104
3.1.5. Propiedades físicas de los sustratos	105
3.1.6. Propiedades químicas de los sustratos	110
3.1.7. Tamaño y calidad de la planta forestal en vivero	114
3.1.8. Índices morfológicos	120
3.2. Materiales y Métodos	121
3.2.1. Germinación	122
3.2.2. Diseño experimental	123
3.2.3. Condiciones climáticas.	123
3.2.4. Caracterización fisicoquímica de los componentes orgánicos y sus mezclas.	124
3.2.5. Caracterización física de los componentes orgánicos y sus mezclas.	124
3.2.6. Índices morfológicos	127
3.2.7. Estado nutritivo de las plantas.	128
3.2.8. Mediciones de las variables Destubetado, Estabilidad del sustrato y Arquitectura radical	129
3.2.9. Atributos fisiológicos	130
3.2.10. Valoración económica.	132
3.2.11. Análisis estadístico.	132
3.3. Análisis y discusión	133
3.3.1. Propiedades Químicas de los sustratos utilizados en el llenado de los tubetes.	133
3.3.2. Propiedades Físicas de los sustratos utilizados en el llenado de los tubetes	136
3.3.3. Distribución de tamaño de partícula.	139
3.3.4. Germinación	140
3.3.5. Análisis de los atributos morfológicos Altura, diámetro, y área foliar	142
3.3.6. Dinámica del crecimiento en altura	144
3.3.7. Modelos matemáticos utilizados para la descripción del incremento en altura de los diferentes sustratos.	145
3.3.8. Parámetros morfológicos de la planta	146
3.3.9. Análisis de los atributos morfológicos del sistema radical	147
3.3.10. Arquitectura radical	149
3.3.11. Índices morfológicos	150
3.3.12. Resultados de las variables destubetado y estabilidad del sustrato	153
3.3.13. Potencial hídrico de madrugada y al mediodía	154
3.3.14. Transpiración cuticular	155
3.3.15. Análisis de correlación	156

3.3.16. Estado nutritivo de las plantas. Análisis foliar	158
3.3.17. Análisis de Cluster	159
3.3.18. Análisis de las condiciones climáticas.	160
3.3.19. Valoración económica	161
3.4. Conclusiones	162
4. CONCLUSIONES GENERALES.	163
RECOMENDACIONES.	164
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165
ANEXOS	182

Introducción.

Hoy en día en el sector forestal se apunta al equilibrio entre las variables sociales, económicas y ambientales. Resulta esencial que cada país establezca un proceso de desarrollo y aplicación de modelos de gestión forestal sustentable que combine objetivos de producción, objetivos socioeconómicos de las comunidades locales dependientes de los bosques, que tengan un enfoque a nivel de ecosistema y estén destinados a asegurar la calidad de los mismos.

De acuerdo con la Organización Internacional de Maderas Tropicales el consumo de madera es de 350 millones de m³ y 100 millones de m³ provienen de plantaciones forestales, en su mayoría de eucaliptos; (Silva, 2001).

La demanda de productos derivados de la madera de eucalipto sigue siendo, a nivel internacional, la que muestra un mayor crecimiento sostenido. Según Silva (2001) mas de 13 300 000 hectáreas de Eucaliptos se han plantado en todo el mundo y la mayor parte del consumo va dirigido a la industria celulósica

La provincia de Pinar del Río cuenta con el 38,6% de su superficie cubierta de bosque, ubicada entre las más importantes reservas forestales del país, destacando en primer lugar las confieras y en segundo por su abundancia, el genero Eucaliptos.

En Cuba la madera del Eucalipto tiene diversos usos, como material de construcción, cujes para secar tabaco, postes de tendido eléctrico, etc. (Orea, 2000 y Castillo, 2006). Para tales fines la provincia posee actualmente un total de 19 586.19 ha de Eucalipto y una planta de preservación de esta madera, en el municipio Guane con una capacidad de producción de 15 000 m³ (Servicio Estatal Forestal, MINAGRI Provincial, 2001). De acuerdo al número de hectáreas plantadas, el volumen de corteza es aproximadamente 2448273.7 m³

Se prevé con la puesta en marcha del programa de desarrollo forestal que la producción de madera crecerá en 2,5 la actual y que el 52% de la madera será destinada a la industria, aumentando las capacidades y modernizando las instalaciones existentes con la instalación o adaptación de hasta tres plantas de tableros con capacidad de 60 millones de m³ anuales a partir de plantaciones de Eucalipto.

Estos planes presentes y futuros inevitablemente generarían un incremento de los volúmenes de corteza, ya existentes. Según Noack, (1995) citado por Jiménez, (2004) un obstáculo para la sostenibilidad de los bosques y las industrias forestales, es el nivel de desechos producidos tanto en los bosques mismos como en las plantas procesadores de maderas.

La corteza representa hoy en día un residuo forestal y sin embargo, posee interesantes posibilidades de aprovechamiento por su contenido elevado de fenoles, terpenos y otros extractivos. Se destaca los procesos de obtención de taninos, con amplias perspectivas de uso en la fabricación de plásticos, adhesivos, reactivos químicos, productos farmacéuticos, entre otros. (Orea, 2000)

Estudios recientes sugieren el empleo de la corteza desde el punto de vista industrial como lubricante y revestimiento de superficies. En la agricultura para la fabricación de herbicidas e insecticidas, además con un uso potencial como cosmético, champús, etc. El biólogo Raj Karim citado por Pavel Adams, (2001) descubrió que un derivado de la betulina se emplea para combatir el virus Herpes, comprobado por Krasutsky, (2000) el que sugiere otros usos medicinales para la corteza.

Autores como Vital *al et.* (2004) han demostrado el efecto de los taninos de la corteza de especies de *Eucalyptus* en la formulación de adhesivos.

Los taninos presentes en los materiales lignocelulósicos, debido a la presencia de grupos polihidroxifenólicos en su estructura química, tienen la capacidad de adsorber iones metálicos. Se ha estudiado la eliminación de metales pesados como Mg^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , por la acción de los taninos de la corteza de diferentes especies forestales, dado por los sitios naturales de adsorción (Torre (1999), Martin-Dupont *et al.* (2006) y Vázquez *et al.* (2005))

Se han descrito más de 30 diferentes tipos de taninos que pueden inhibir hongos y bacterias. (Domingo y López- Brea, (2003), Rubial *et al.* (2006))

Algunos extractos tánicos que se obtienen a partir de la corteza de especies forestales, contiene actividad anti VIH-1, los hechos experimentales indican que la misma puede ser atribuida a los taninos de alta masas molecular, los cuales

poseen una actividad trópica con proteínas y ácidos nucleicos. (Ruibal *et al.* 2003)

Los preservantes de madera basados en flavonoides y extractos fenólicos, fundamentalmente taninos, han despertado interés y están siendo desarrollados debido a su habilidad de formar quelatos insolubles con varios iones metálicos, incluyendo cobre. (Alessandrini y Vargas, 2006)

Un aprovechamiento integral de este residuo genera beneficios sociales, económicos y ambientales, contribuyendo a la sostenibilidad de los bosques y las industrias forestales

Entre los diferentes métodos de adecuación de los residuos orgánicos se destaca el compostaje (Abad y Puchades, 2002), tanto desde el punto de vista ecológico como económico. Al mismo tiempo que colabora en la gestión de los residuos sólidos, el compostaje es el sistema que más respeta el ciclo de conservación de la materia.

Estudios sobre la degradación de la corteza de eucalyptus para diversos fines se ha realizado por Paul *al et.* (2004) y Yadav *al et.* (2002).

La evaluación de diferentes compost en la elaboración de sustratos, se ha realizado por diferentes autores como Sánchez-Monedero *al et.* (2004), Clark y Cavigelli, (2005), Moldes *al et.* (2006) y Dede *al et.* (2006), los cuales han obtenido excelentes resultados cuando se utiliza como constituyente medio

En Chile, uno de los sustratos más utilizados en la producción de plantas en recipientes (bandejas) es el compost de corteza de pino. Como se trata de un desecho de aserraderos, se encuentra disponible y a bajo costo. Por su alto contenido de taninos es necesario efectuar un lavado de estas sustancias tóxicas en la pila de compostaje, previo al inicio del proceso. Las características propias de este sustrato son favorables a la producción de plantas, como son buena retención de agua, buena aireación y drenaje. (Sandoval y Stuardo 2002)

Mupondi *al et.* (2006), evaluó el efecto de diferentes residuos orgánicos y microorganismos en el compostaje de la corteza de pino, los compost obtenidos fueron utilizados para el crecimiento de plántulas.

Estudios realizados en la Universidad de Pinar del Río, Cuba, también han demostrado que el uso de la corteza de diferentes especies forestales, es una buena opción en la elaboración de sustratos para viveros forestales (Castillo, 2006 y Cobas, 2001), sus mejores resultados coinciden con aquellos sustratos en los se incluyen corteza, aunque en todos los casos utilizan concentraciones de la misma menores que un 30 %.

Para Soliva, (2001) los principales problemas a los que se enfrenta un productor de plantas ya sea en viveros forestales o agrícolas, es disponer de una gran cantidad de sustrato de buena calidad, que permita un adecuado desarrollo de las plantas en los viveros forestales.

Problema

Inadecuada disposición de la corteza de Eucalipto como residuo sólido y la escasa disponibilidad de sustratos económicos, ecológicos y de buena calidad, que permitan un adecuado desarrollo de las plántulas en los viveros forestales.

Objeto de estudio

El compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell y la producción de plantas de *Eucalyptus saligna* Smith

Objetivo general

Caracterizar el compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell en la obtención de un compost como fuente de sustrato para ser empleado en los viveros forestales.

Objetivos específicos.

- Caracterizar el proceso de extracción de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell, NaOH 1%, con agua a 95°C y a temperatura ambiente, para su aprovechamiento integral.
- Comparar el compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell (sin extraer y con previa extracción con el mejor sistema de extracción), teniendo en cuenta los parámetros que lo caracterizan.
- Evaluar los diferentes compost obtenidos en viveros forestales haciendo uso de los parámetros morfológicos y fisiológicos de plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith.

Hipótesis

Al determinar los parámetros físico químicos (temperatura, pH, conductividad, humedad, ceniza, contenido de celulosa, lignina, materia orgánica, relación C/N) que caracterizan al compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell sin extraer y previamente extraída con NaOH 1%, extraída con agua a 95°C y a temperatura ambiente, con la adición de un 30% de estiércol de gallina, en función del tiempo de compostaje y evaluar el comportamiento de plántulas de eucalipto en vivero, a través de parámetros morfológicos y fisiológicos con los diferentes compost obtenidos, se obtendría la influencia del proceso de extracción en la eficiencia del compostaje, se le daría un aprovechamiento óptimo a la corteza y se propondría un compost como fuente de sustrato para ser empleado en los viveros forestales.

Aportes prácticos

1. Se ofrecen los volúmenes de corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell producidos en las EFI de Macurijes y Guanahacabibes de la provincia de Pinar del Río como medida de la producción de desechos de corteza de estas especies.

2. Se indica cual de los pretratamiento de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell (extracción con NaOH 1%, extracción con agua a 95°C o sin extracción) es él más eficiente para el compostaje.
3. Se ofrece una metodología para realizar el compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell.
4. Se brinda la posibilidad de producción de un sustrato ecológico en las propias instalaciones de los viveros forestales con materiales adecuados que eleven la calidad de las mismas, más baratos y eficientes.
5. Se da un uso a un desecho de la industria de la Elaboración Primaria de la Madera, que en la actualidad provoca daños medioambientales.
6. Se contribuye al plan de reforestación del país.

Aportes Teóricos.

1. Se caracteriza al compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell
2. Se da ha conocer las modificaciones que ejerce el sistema de extracción con NaOH al 1% en los componentes de la pared celular de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell.
3. Se brindan las ecuaciones de crecimiento de plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith utilizando los compost obtenidos como sustratos.

Capítulo I. Estudio del proceso de extracción de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell en diferentes medios de extracción

La industria forestal constituye una actividad económica importante y la evaluación de los residuos generados en dicha actividad, para determinar sus potencialidades y sus posibles vías de uso económicamente factibles, debe ser de gran interés para los productores.

En este capítulo se pretende estudiar el proceso de extracción de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell, con diferentes sistemas de solventes (hidróxido de sodio al 1%, con agua a 95°C y a temperatura ambiente), para proponer un aprovechamiento integral de la corteza.

1.1. Revisión Bibliográfica.

1.1.1. El eucalipto. Origen y distribución.

Las especies de árboles descritas bajo el nombre de “eucalipto”, fueron observadas por los navegantes portugueses, españoles, holandeses e ingleses a fines del siglo XVI, durante el XVII y principios del XVIII al navegar con sus barcos por las islas orientales del archipiélago Indonesio y a lo largo de la mitad occidental del continente Australiano. Por tanto se considera, de forma general, que los eucaliptos son árboles australianos o austro – malayos, con una dispersión natural en latitudes que se extiende desde 7° N a 43° 39' S. (Jacobs, (1981), citado por Orea, (2000)).

El género *eucalyptus*, al que pertenecen estas especies, deriva su nombre de las palabras griegas *eu*, que significa bien, y *kaluptos* que significa cubierto. (Poore, (1990), citado por Orea, (2000) y Castillo, (2006))

Este género fue descrito por el botánico francés L' Heritier en 1788 pertenece a la familia Mirtácea y está compuesto por más de 672 especies y variedades. (Silva, 2001).

1.1.2. El eucalipto en Cuba.

El eucalipto fue introducido en Cuba por Julius Lachaume en 1867, (Ferro, (1948), citado por Fors, (1967) y Orea, (2000)). La introducción masiva del eucalipto en Cuba la realizó el ingeniero Alberto J. Fors en 1929 en el entonces Vivero Forestal de Pinar del Río, hoy Arboreto de la Universidad de esta misma provincia, con semillas procedentes de Australia.

A partir de 1972 se han ensayado más de 90 especies de eucaliptos en diferentes zonas del país destacándose por su consistencia, los de *Eucalyptus saligna* Smith, *Eucalyptus alba* Reinw (híbrido de *Eucalyptus urophylla*), *Eucalyptus citriodora* Hook, *Eucalyptus tereticornis* Smith, *Eucalyptus maculata* Hook, E. *Eucalyptus grandis* Hill, *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus deglupta* Bl, que junto a otras especies forestales tradicionales forma parte integral de los planes de reforestación que se desarrollan en el país, ocupando las categorías de Bosques de Producción, Bosques para la Protección y Conservación de la Fauna, Bosques Recreativos y Bosques Educativos y Científicos (Linares, (1997) citado por Jiménez, (2004)).

En la provincia de Pinar del Río, las plantaciones de eucaliptos sp. alcanzan el 10.1 % de la superficie cubierta de bosques, con 19362 hectáreas. Cuenta con ocho Empresas Forestales Integrales (EFI). (Servicio Estatal Forestal, MINAGRI Provincial, 2007).

1.1.3. Importancia y usos de los eucaliptos.

Su adaptabilidad edafoclimática, desde los climas semi-desérticos a los climas templados fríos, es la razón de su notable éxito como especie exótica. El eucalipto es considerado como una especie de rápido crecimiento, con una producción elevada de biomasa (hasta 12 % en 5 años), presenta buena madera, así como sustancias con actividad biológica que han revolucionado la Industria Farmacéutica actual. Las plantaciones de eucaliptos ofrecen beneficios ambientales semejantes a cualquier tipo de bosque o plantación, así, como disminuyen la erosión causada por las lluvias y el viento, aportan minerales al suelo, en ocasiones son empleados como drenantes naturales. (Silva, (2001), Mendel *et al.* (2004))

Para Peñalver, (1991) la importancia del eucalipto esta dada por su rápido crecimiento, plasticidad ecológica y multiplicidad de usos.

Más de 90 países en todo el mundo poseen proyectos de reforestación forestal con el Eucaliptos y según Silva, (2001) mas de 13 300 000 hectáreas de Eucaliptos se han plantado en todo el mundo.

De acuerdo con la Organización Internacional de Maderas Tropicales el consumo de madera es de 350 millones de m³ y 100 millones de m³ provienen de plantaciones forestales, en su mayoría de eucaliptos; (Silva, 2001).

La madera del género *Eucalyptus* ha sido y es uno de los recursos forestales más utilizado industrialmente en el mundo entero. Su madera resulta adecuada para muy diversos usos, consumo doméstico, leñas de alto poder calorífico, producción de carbón vegetal, estructuras de edificios, postes para comunicaciones y tendidos eléctricos, suelos de parquet, pasta celulósica para diversos fines, apeas de mina, sujeción de taludes, o para elaboración de tableros de fibras, (Silva, 2001).

Se tienen referencias de que los eucaliptos fueron usados por los aborígenes australianos, destacándose su empleo como planta medicinal, sus principales propiedades son antibióticas, antigripal, antiséptico, expectorante, estimulador local del flujo sanguíneo, febrícula, alivia la sinusitis y la congestión bronquial. Actualmente el eucalipto constituye una planta medicinal que provee de materia prima a la Industria Farmacéutica, contribuyendo con sus hojas y corteza a la obtención de nuevos medicamentos, (Orea, 2000).

El valor melífero de los eucaliptos está siendo reconocido en los países donde se ha introducido. Las plantaciones de eucalyptus producen muchas más flores por hectáreas que los bosques naturales. La miel que proviene de los eucalyptus es muy codiciada por sus propiedades medicinales. (Silva, (2001), Mendel *et al.* (2004))

En Cuba los eucaliptos, son utilizados mayormente para postes para el tendido eléctrico, madera para combustible, traviesas de vías ferroviaria, construcciones de casas de curar tabaco, fabricación de muebles (chapas curvado – encolado), para cujes de tabaco, etc.

1.1.4. Descripción botánica del género *Eucalyptus*.

Cada eucalipto se distingue por sus características generales y dimensiones; su corteza en estado adulto; hojas en plantas juveniles y adultas a veces hojas de transición, entre estas dos últimas fases, conocidas como hojas intermedias; ramas jóvenes; inflorescencias; forma de las yemas; estambres; frutos y semillas. (Jacobs, (1981), citado por Orea, (2000).

1.1.4.1. Descripción botánica del *Eucalyptus pellita* F. Muell.

El *Eucalyptus pellita* F. Muell, es un árbol que puede alcanzar hasta 47 m de altura, posee buen tronco y copa fuertemente ramificada, su corteza es fibrosa corta y áspera hasta las ramas pequeñas, las hojas juveniles son opuestas y luego subopuestas, pecioladas, en ocasiones ligeramente falciformes. Presenta una madera de color rojo a rojo oscuro, moderadamente pesada, fuerte y durable. (Jacobs, (1981); Betancourt, (1983), citados por Orea, (2000).

1.1.4.2. Descripción botánica del *Eucalyptus saligna* Smith,

El *Eucalyptus saligna* Smith, alcanza hasta 55 m de altura con tronco derecho



Figura 1.1 Plantación de *Eucalyptus saligna* Smith

hasta la mitad a dos terceras partes de la altura total. Ver Figura 1.1. Su corteza superior es generalmente lisa, pero con una acumulación de corteza áspera persistente que se extiende algunos metros arriba sobre el tronco. Las hojas juveniles primero son opuestas y luego son alternas, con corto pecíolo, lanceoladas, las adultas son alternas, pecioladas y lanceoladas. Su madera es roja a rosada, dura, rígida de textura áspera, moderadamente durable,

fácil de trabajar. (Jacobs, (1981); Betancourt, (1983), citados por Orea, 2000)).

1.1.5. Descripción y clasificación de la corteza del género *Eucalyptus*.

Dado que la corteza, como el comportamiento del árbol, es una característica que llama rápidamente la atención, su descripción es prácticamente necesaria

para el reconocimiento de muchas especies de eucaliptos que por lo demás son muy similares. (Jiménez, 2004)

Siempre que la capa súbero – felodérmica sobre las ramas juveniles y sus



Figura 1.2. Corteza de *Eucalyptus saligna* Smith

ramitas funcionen sin interrupción, la corteza primaria es, por lo general lisa y continua. Cuando esta capa deja de funcionar, se forma una nueva capa profunda interior, que es retirada durante un año o varios años más tarde, otras capas más profundas pueden aparecer a varios intervalos de tiempo. Estas capas sucesivas se distinguen unas de otras en toda la superficie o sobre parte del tronco y las ramas. Ver Figura 1.2. Además, el ritidoma, que es la masa compleja externa de las sucesivas capas generadoras, pueden variar de color, textura, persistencia o desprendimiento después de la renovación de la capa súbero - felodérmica.

De forma general la corteza sobre las ramas jóvenes de un árbol maduro es lisa mientras que en la parte inferior del tronco, hasta pocos metros del suelo, el ritidoma se vuelve más o menos persistente y profundamente surcado. Ver Figura. 1.3.

Corteza caduca.

La corteza se desprende cuando cada capa se renueva, en largas tiras, ejemplo: El *Eucalyptus globulus*, en forma de láminas bastantes anchas; mientras que el *Eucalyptus camaldulensis* y el *Eucalyptus saligna*, lo hacen en planchuelas muy pequeñas o escamas, como en *Eucalyptus citriodora* o *Eucalyptus astringens*.

Por lo general es difícil definir el color y la textura superficial de estas cortezas, puesto que, a menudo, se caracteriza por placas yuxtapuestas de diferentes edades, mientras que las placas más nuevas son por lo general brillantes y de grano fino, con colores relativamente vivos y variados, las placas viejas, listas para caer, son relativamente de un color gris opaco y menos lisas.

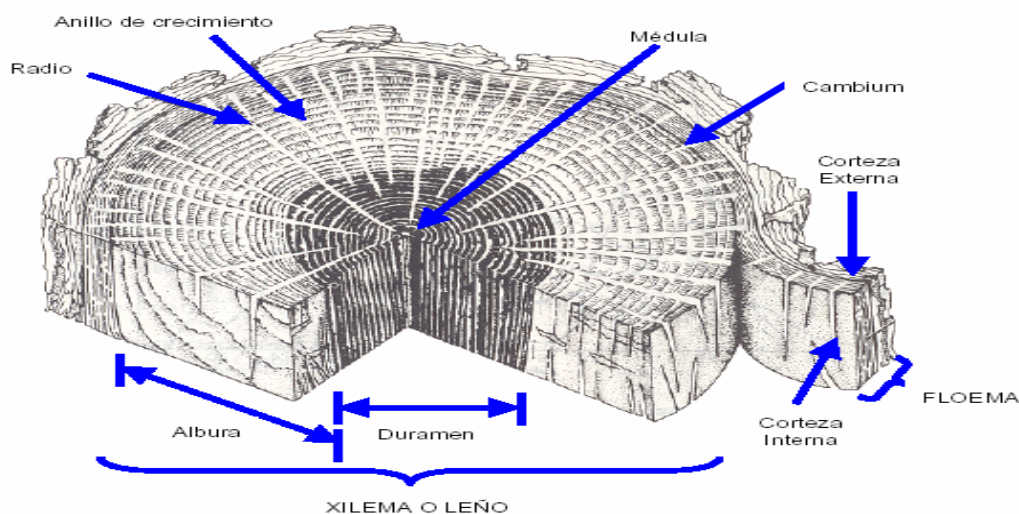


Figura. 1.3. Partes de la sección transversal del tronco

Corteza persistente.

Si la capa subéro – felodérmica no se renueva con profundidad, o si, por cualquier otra razón, las partes externas del ritidoma no se desprenden periódicamente del árbol, la corteza se denomina “persistente”. Al envejecer la corteza, su superficie se oxida, se oscurece, se vuelve más o menos pulverulenta y pierde sus caracteres específicos. Estas características pueden determinarse solamente examinando la corteza madura, no a la base del tronco, sino a un tercio de la altura del árbol. (Jacobs, 1981 citado por Jiménez, (2004))

1.1.6. Componentes estructurales de la corteza.

Los constituyentes principales de la pared celular de la corteza son, polisacáridos, lignina y suberina. Las células del floema están esencialmente constituidas por polisacáridos.

La celulosa es dominante, con cerca del 30 % del peso seco de la corteza. Consiste en las unidades de anhidro β - D(+) gluco piranosa en la conformación C_1 por lo que se puede describir como un polímero lineal de glucanos, unidos por enlaces glucosídicos β (1,4), La unidad estructural de la celulosa es la celubiosa (disacárido) con una longitud de 1,03 nm. El grado de polimerización

de la molécula es del orden de los 15,000, lo que equivale a una masa molar en el orden de los 2,3 millones. Debido al tipo de enlace β (1,4), la molécula de celulosa tiene una forma lineal, estabilizada por la formación de numerosos puentes de hidrógenos intracadenales e intercadenales. Entre 40 y 70 moléculas encuentran agrupadas en fibrillas elementales de un espesor de 3.5 y de 7,5 nm y una longitud de varios μm . En ellas las moléculas de celulosas están orientadas longitudinalmente formando un agregado cristalino fuertemente ordenado, en el que todas las moléculas presentan la misma polaridad, lo que indican que tienen su extremo reductor orientado hacia el mismo extremo de la microfibrilla. En estos agregados las moléculas de celulosas no están unidas covalentemente, estabilizándose su estructura solamente por puentes de hidrógenos, que aunque muy débiles individualmente, su elevado número hace de la fibra de celulosa una estructura muy firme y poco sensible a la degradación. (Orea, 2000)

Presenta también hemicelulosas del mismo tipo que la madera. Normalmente están presentes en muchas cortezas, especialmente la del pino, una arabinana altamente ramificada (polímero de (1– 5) α -L-arabinofuranosa) que es extraíble en éter o etanol.

No existen datos completamente satisfactorios respecto a la lignina de la corteza, por dificultades para separarlas de los ácidos fenólicos. Contenidos de lignina entre el 15 – 30 % (basado en corteza libre de extraíbles) han sido publicados para la corteza de coníferas. Otros estudios indican que la lignina de la corteza interna es semejante a la lignina de la madera, en tanto que en la corteza externa difiere significativamente. Durante el desarrollo de la célula la lignina es incorporada como último componente de la pared celular interpenetrando las fibrillas y fortaleciendo la pared celular. (Orea, 2000)

La lignina constituye un polímero aromático, heterogéneo, ramificado, donde no existe ninguna unidad repetida definidamente. Formada por la polimerización deshidrogenativa al azar de los alcoholes parahidroxinámicos (alcohol p-cumárico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico), catalizados por enzimas vía radicales libres.

Orea, (2000), realizó la caracterización química de tres especies de Eucalyptus que crecen en la provincia de Pinar del Río, Cuba y demostró la variación de estos componentes estructurales con la altura del fuste comercial y que existían diferencias significativas entre las especies estudiadas.

Las células corticosas de la corteza externa contienen suberinas. Las suberinas son polímeros complicados, compuestos por ácidos ω -hidroximonobásicos que están unidos unos a otros por medio de enlaces ésteres. Adicionalmente, ellos contienen ácidos α - β -dibásicos esterificados con alcoholes bifuncionales o dioles y con ácido ferúlico y sinapílico. El alargamiento de la cadena varía, en la suberina son moléculas que tienen de 16 a 18 átomos de carbono. Existen también enlaces dobles y grupos hidroxílicos a través de los cuales son posibles los enlaces éteres y ésteres. La composición química de la corteza es complicada. De modo general ella presenta muchos más extractivos, (30 – 40 %) en algunas especies. Los extractivos de la corteza pueden ser divididos en constituyentes lipofílicos e hidrofílicos. El constituyente lipofílico se extrae con solventes no polares (éter y diclorometano), constituidos por ceras terpenoides y alcoholes alifáticos. Terpenos y ácidos resinosos están localizados en la resina presente en la corteza. Algunas especies presentan cantidades de triterpenoides. (Sjostrom, (1981), citado por Jiménez, (2004)).

El estudio de fenoles y polifenoles realizados por Orea, (2000) de diferentes especies de eucalyptus que crecen en la provincia de Pinar del Río, Cuba, demostró, a partir de la relación entre la composición química de la madera y la corteza, que la corteza presenta mayores contenidos de sustancias extraíbles que la madera.

Los taninos son los que se encuentran en mayor proporción, estos compuestos son derivados del ácido gálico, se presentan como polvo amorfo, brillante y débilmente amarillo, como escamas brillantes o como una masa esponjosa. Se oxidan fácilmente, son inodoros, y de sabor agrio, son solubles en agua, alcohol y acetona, y casi insolubles en benceno, cloromorfo, éter y éter de petróleo. Ellos se encuentran en las vacuolas de las células (parénquima) y en determinadas plantas pueden ser muy abundantes en la madera, hojas verdes, raíces, rizomas, el fruto y agallas. Son polímeros de

sustancias fenólicas, de una masa molecular entre 500 y 3000, con un número elevado de grupos fenólicos sin conjugar, (Vital *et al*, 2004)

1.1.7. Composición química de la corteza del género *Eucalyptus*.

La corteza presenta mayores contenidos de extraíbles que la madera en diferentes sistemas de solventes. Este gran número de extraíbles se obtiene especialmente en agua a temperatura de 95 °C, según afirma Pereira, y Sardinhas, (1984), citado por Orea, (2000), pueden ser tres veces mayores que el de la madera.

En cuanto a los componentes de la pared celular puede encontrarse contenidos de celulosa mayores que en la madera, y en general una ligera disminución de los contenidos de lignina. (Pereira, y Sardinhas, (1984) citado por Orea, (2000)).

La composición química de la corteza depende de muchos factores, tales como, localización, edad, condiciones de crecimiento del árbol y los métodos de obtención de las muestras. Vázquez *et al*. (1987)

1.1.8. Composición química de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

Eucalyptus saligna Smith:

El *Eucalyptus saligna* Smith según Orea, (2000), presenta una gran variabilidad en su composición química. Este autor no encontró diferencias significativas entre los contenidos de celulosa y hemicelulosa.

Al aumentar la temperatura de extracción, aumenta la solubilidad de los sustancias extraíbles, favoreciendo positivamente la solubilidad de azúcares, taninos, oligosacáridos, almidón y aminoácidos (Martínez-Luzardo, (1989), Orea, (2000)).

Las sustancias solubles en NaOH al 1% incrementan el contenido de las sustancias ácidas, fenólicas y polifenólicas con la altura. Orea, (2000) lo sugiere como método de extracción de fenoles y polifenoles. Otros autores como Vital *et al*. (2004), proponen métodos de extracción de fenoles y

polifenoles en corteza de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden y *Eucalyptus pellita* F. Muell con sulfito de sodio a temperaturas entre 70 y 100°C.

Orea, (2000), también encuentra que el contenido de sustancias minerales en la corteza del *Eucalyptus saligna* Smith, presentaba diferencias significativas a las tres alturas del fuste comercial, los cuales eran valores altos, según los resultados de Chang, (1954) y Harder, (1980) citados por Orea, (2000).

Eucalyptus pellita F. Muell:

Vital *et al.* (2004), encuentra contenidos de sustancias solubles en agua entre 70 y 100°C relativamente bajos comparados con las extracciones realizadas con sulfito de sodio.

Las sustancias solubles en agua a temperatura ambiente según Orea, (2000) en el *Eucalyptus pellita* F. Muell no presentan diferencias significativas a lo largo del fuste comercial, y presenta un contenido de sustancias solubles en agua a 95°C mayor.

Los mayores valores medios porcentuales de las sustancias solubles en NaOH al 1% se alcanzan al 85% de la altura del fuste comercial, o sea que en la parte superior se encuentran las mayores cantidades de compuestos fenólicos, polifenólicos y compuestos ácidos. (Orea, 2000).

Las sustancias minerales, en contraste con el *Eucalyptus saligna*, no muestran variaciones considerables con la altura, Orea, (2000), plantea que los valores máximos se manifiestan al 25% de la altura del fuste y que los menores al 55% de la altura del fuste, y que también se consideran altos según los resultados dados por Chang, (1954), Harder, (1980) citados por Orea, (2000).

1.1.9. Composición fenólica y polifenólica de los eucaliptos.

Un gran número de compuestos de origen vegetal tienen una estructura con uno o más anillos aromáticos con al menos un sustituyente hidroxilo. Denominados frecuentemente como fracción fenólica, comprende este grupo, los ácidos fenólicos e hidroxicinámicos, cumarinas, xantonas y flavonoides. Algunos polímeros de elevada masa molecular, como tanino y ligninas también pertenecen a este grupo de sustancias.

Los taninos, definidos inicialmente por su capacidad para precipitar proteínas son polímeros de sustancias fenólicas, hidrosolubles, de una masa molecular entre 500 y 3000, con un número elevado de grupos fenólicos sin conjugar. De acuerdo con su estructura se dividen en dos grandes categorías, los taninos no hidrolizables (o condensados) y los taninos hidrolizables, (Queiroz *et al.* 2002).

Normalmente, los taninos hidrolizables son divididos en galotaninos, que producen ácido gálico y en elagitaninos, que producen ácido elágico (Queiroz *et al.* 2002). Estos taninos no son muy comunes en la corteza, cuando son comparados con los taninos condensados. En la Figura 1.4 se presentan galotaninos y elagitaninos.

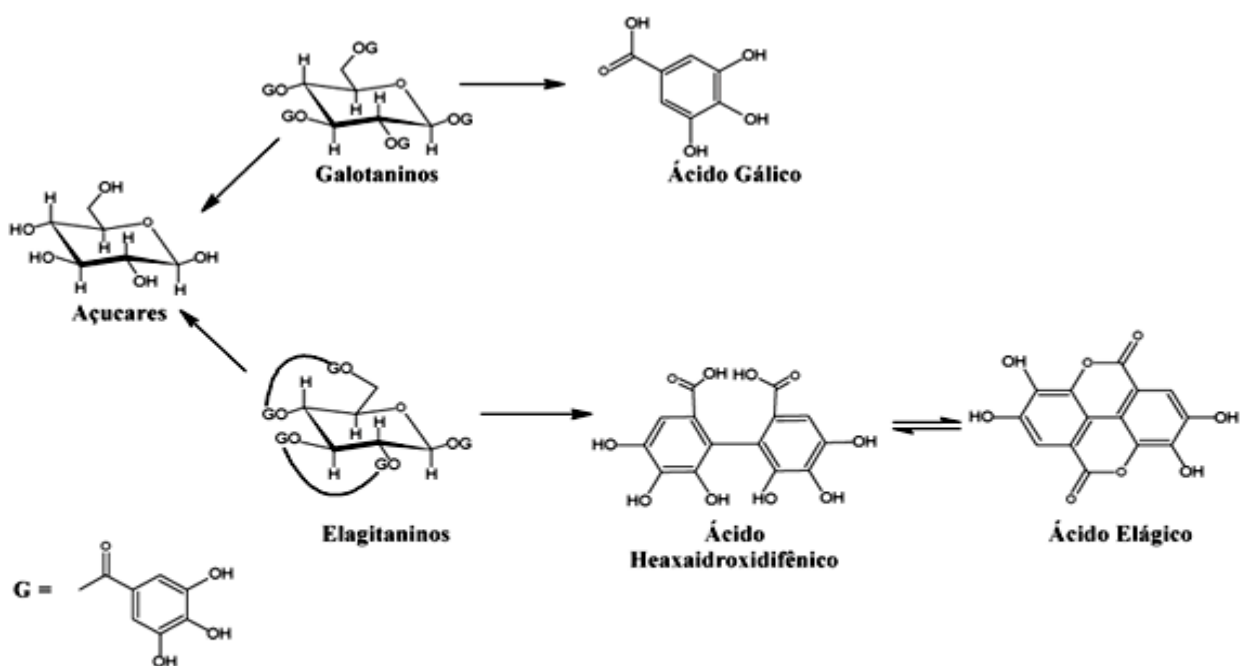


Figura 1.4. Taninos hidrolizables

Los taninos condensados forman, aproximadamente, la mitad de materia seca de la corteza de muchos árboles. Ellos constituyen la segunda fuente de polifenoles del reino vegetal. Además son potentes antioxidantes y muy utilizado en la industria del cuero (Queiroz *et al.* 2002).

La estructura de los taninos condensados es formada por la unión de una serie de monómeros de unidades flavan-3-ol, o por un derivado de esta. Esta unión ocurre normalmente entre los carbonos 4 de una estructura y 8 de la otra. En la Figura 1.5, se muestra la estructura de un tanino condensado muy común, la procianidina.

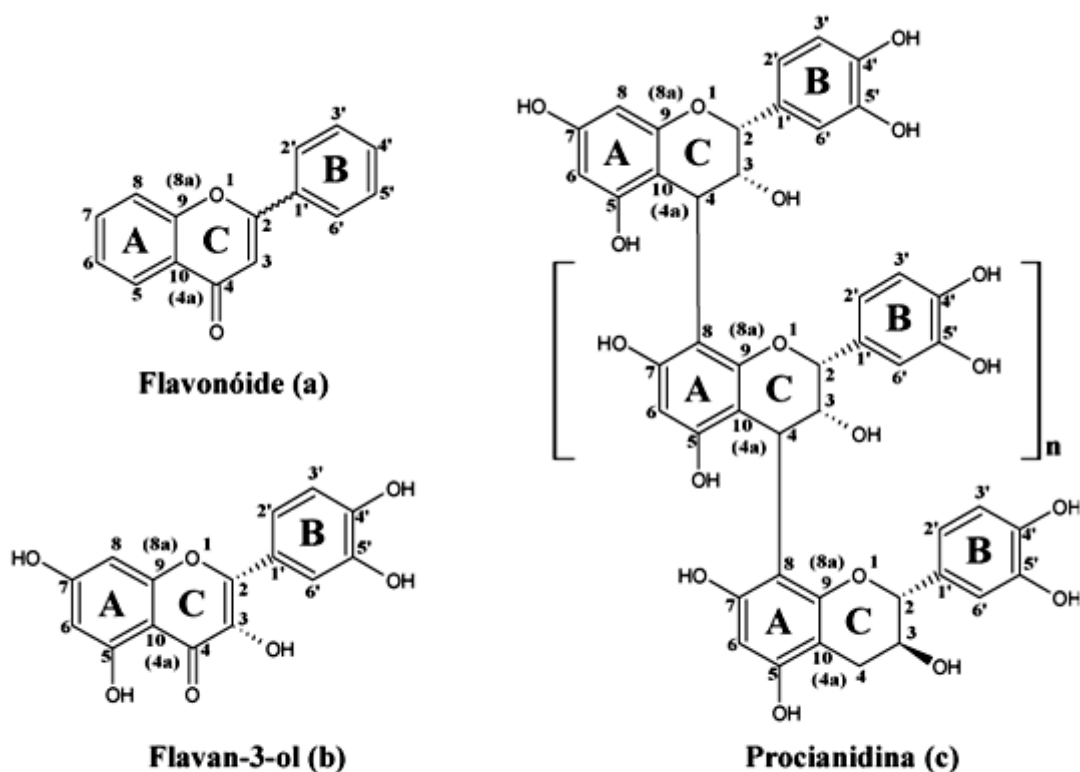


Figura 1.5. Formulas estructurales: **a)** Un flavonoide genérico, **b)** flavan-3-ol, **c)** procianidina (tanino condensado)

Las especies forestales mas utilizadas para la producción comercial de taninos son la acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) y el quebracho (*Schinopsis* sp.). En el género *Eucalyptus* pueden ser citadas las especies *Eucalyptus astringens* Maiden, *Eucalyptus wandoo* Blakely (Haslam, 1966) y *Eucalyptus grandis* (Mori *et al.* 2000), *Eucalyptus pellita* (Vital *et al.* 2004) entre otras. Los taninos obtenidos a partir de la corteza del *Eucalyptus* sp. constituyen mas de 90% da producción mundial de taninos comerciales, siendo adecuados, desde puntos de vista químico y económico, entre otros usos, para la producción de adhesivos fenólicos (Vital *et al.* 2004).

En Cuba, se han realizado estudios referentes a la determinación del contenido total de taninos (fenoles y polifenoles) en especies de eucalyptus, como los

realizados por Martínez, (1989) en la corteza de *Eucalyptus saligna* Smith, evidenciando la presencia de factores genéticos al estudiar los rendimientos de taninos en la corteza de *Eucalyptus saligna* Smith de 16 procedencias en Topes de Collantes. Este autor estudió la optimización del proceso de extracción de la corteza con agua, analizando la influencia corteza-agua, temperatura, tiempo de extracción y grado de división de las partículas en los porcentajes de extractos tánicos obtenidos. En la caracterización del extracto tánico de esta corteza, mediante la Espectroscopía Ultravioleta e Infrarrojo, demuestra la presencia de taninos hidrolizables y condensados. Comprueba además, que el extracto tánico de la corteza de *Eucalyptus saligna* Smith no presenta efectos tóxicos ni mutagénicos, dando la posibilidad de continuar investigaciones para su uso en la medicina.

Estudios realizados por Orea, (2000) a los extractos de taninos de la corteza de tres especies de *Eucalyptus* a tres alturas diferentes del fuste comercial, demostraron a través del análisis por cromatografía líquida de alta resolución la variabilidad y riqueza de taninos presente en dicha corteza, mayormente la existencia de proantocianidinas poliméricas. Este autor también verificó los contenidos de elagitaninos allí presentes, determinados por espectroscopia visible, los que se encuentran en un rango entre 0.37 y 0.87mg/g, los mayores contenidos de galotáninos determinados por el método de la rodanina, fueron encontrado en la parte superior de fuste comercial de estas tres especies forestales y el contenido total de fenoles por el método de Price y Butler alcanzaron valores entre 124 mg/g y 150 mg/g.

Actualmente se plantea cuantificación de los extraíbles de la corteza a través de análisis de NMR. (Grigsby, 2003).

1.1.10. Método de extracción de taninos.

La utilización de agua como solvente es el proceso más común, debido a la economía y a la buena eficiencia de la extracción. Existen algunas especies forestales que solamente el agua es utilizada para la extracción. En algunas especies para mejorar la extracción y la calidad de los taninos se adicionan al agua sales como: sulfito de sodio, metabisulfito de sodio y carbonato de sodio,

hidróxido de sodio (Pizzi y Mittal, (1994), Chen, (1991) citados por Mori *et al.* (2003)).

La extracción alcalina, aumenta el rendimiento de extraíbles en la corteza, método de extracción propuesto por Orea, (2000) para la corteza de *Eucalyptus*.

Vázquez *et al.* (2001), también obtiene altos rendimiento (15-31%) en la corteza de *Pinus pinastes* en NaOH, donde estudia el efecto de la concentración, la temperatura y la relación sólido líquido con el contenido de extraíbles. Una desventaja encontrada en los extractos de la corteza de *Pinus pinaster* es la baja solubilidad

Mori *et al.* (2002) entre otros autores, plantean la sulfatación transforma los extractos de la corteza de *Eucalyptus sp.* mas hidrófilos y propicios para la preparación de resinas, con soluciones menos viscosas para elevadas concentraciones.

Yazaki y Collins, (1994) citado por Caldeira *et al.* (2002), obtuvieron extractos de *pinus radiata* a través de una serie de extracciones sucesivas, incluyendo apenas agua e NaOH en varias concentraciones. Por ajuste de pH a 6 fue observada la precipitación de los taninos, que luego fue separada y sulfatada.

1.1.11. Importancia de los taninos.

El interés en la utilización de los taninos de la corteza de diferentes especies forestales ha sido incrementado recientemente como resultado de una mejor comprensión de su estructura química, junto con los beneficios de los efectos económicos y medioambientales (Vásquez *et al.*, 2004).

La mayor importancia de los taninos extraídos de la corteza es fundamentalmente su utilización para el curtido de pieles, debido a su habilidad para combinarse con las proteínas y formar sustancias solubles, lo cual hace a las pieles inalterables. Es muy utilizado en la industria del petróleo como dispersante para regular la viscosidad del lodo en la perforación de pozos. Se utilizan en la fabricación de tintas, como astringente, como colorante, adhesivos y para fijar tintes. (Días, 1986).

Los compuestos tanino-metal se basan en la afinidad de un metal por los grupos oxidrilo en el anillo - β del flavonoide, (Figura 1.6). El metal utilizado frecuentemente como biocida ha sido cobre. Existen investigaciones donde este metal ha sido reemplazado por Zinc. Los compuestos así formados son influidos por la naturaleza del tanino, la concentración tanto de estos compuestos, como del cobre, así como la precipitación de este metal. Por todo esto, se hace necesario optimizar los parámetros de fijación del cobre y el zinc para lograr su insolubilización en la madera, lo que garantizará el empleo de estos compuestos como preservantes de la madera. (McDonald *et. al.*, (1996), citado por Alessandrini y Vargas, (2006)).

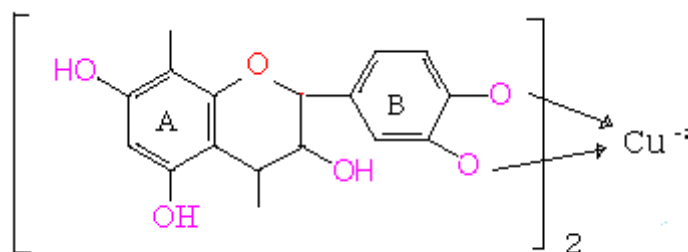


Figura 1.6. Complejo tanino-metal, señalando la afinidad de un metal por los grupos oxidrilo en el anillo - B del flavonoide.

Los preservantes de madera basados en flavonoides y extractos fenólicos, fundamentalmente taninos, han despertado interés y están siendo desarrollados debido a su habilidad de formar quelatos insolubles con varios iones metálicos, incluyendo cobre. Este tipo de preservantes son muy ventajosos por generar un bajo impacto ambiental tanto en su preparación como durante su aplicación, además, por la posibilidad de brindar una gran seguridad a los usuarios y finalmente por los potenciales beneficios sociales y económicos de estos productos. (Alessandrini y Vargas, 2006).

Se han realizado múltiples investigaciones sobre la obtención de adhesivos fenol-formaldehído-taninos empleando taninos de corteza de *Pinus Pinaster* con resultados prometedores en su aplicación a tableros contrachapados de eucalipto, (Vázquez *et al.*, 2000, 2002, 2003, 2005).

Autores como Mori *et al.* (2002), Vital *et al.* (2004) han demostrado el efecto de los taninos de la corteza de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden y *Eucalyptus*

pellita F. Muell en la formulación de adhesivos para la producción de tableros de partículas. Este uso permite la sustitución de un recurso no renovable, el fenol, en la formulación de los adhesivos fenol- formaldehído.

Los taninos presentes en los materiales lignocelulósicos, debido a la presencia de grupos polihidroxifenólicos en su estructura química, tienen la capacidad de adsorber iones metálicos. Se ha estudiado la eliminación de metales pesados como Mg^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} por la acción de los taninos de la corteza dado por los sitios naturales de adsorción (Torre, (1999), Martin-Dupont *et al.* (2006), Vázquez, *et al.* (2005))

Se han descrito más de 30 diferentes tipos de taninos que pueden inhibir hongos y bacterias. (Domingo y López- Brea, (2003), Rubial *et al.* (2006))

Otros autores han recomendado el uso de los taninos como una alternativa novedosa en el control de nemátodos en ovejas en el trópico. (Max *et al.* 2006).

Algunos extractos tánicos que se obtienen a partir de la corteza de especies forestales, contiene actividad anti VIH-1, los hechos experimentales indican que la misma puede ser atribuida a los taninos de alta masas molecular, los cuales poseen una actividad trópica con proteínas y ácidos nucleicos. (Ruibal *et al.* 2003)

Estudios recientes sugieren el empleo de la corteza desde el punto de vista industrial como lubricante y revestimiento de superficies. En la agricultura para la fabricación de herbicidas e insecticidas, además con un uso potencial como cosmético, champús, etc. El biólogo Raj Karim citado por Pavel Adams, (2001) descubrió que un derivado de la betulina se emplea para combatir el virus Herpes, comprobado por Krasutsky, (2000) el que sugiere otros usos medicinales para la corteza.

1.1.12. Alelopatía de los compuestos fenólicos presentes en la corteza.

La inhibición de una planta sobre otra a través de la liberación de aleloquímicos, es bien conocida, la disminución en el rendimiento de las cosechas debido a la influencia de aleloquímicos liberados desde el *Eucalyptus* ha sido reportado por Usanework y Michelson, (1993) citados por Sasikumar *et al.* (2004). La liberación de compuestos fenólicos afecta a la germinación y al

desarrollo de las planta a través de su interferencia en la energía del metabolismo, división celular, toma de minerales y procesos biosintéticos. La lluvia podría contribuir a la liberación y acumulación de aleloquimicos desde plantaciones de Eucalyptus

Sasikumar *et al.* (2004), estudio el efecto alelopático de cuatro especies de eucalyptus y plantea que compuestos como el catecol, ácido cumáricos, ferúlico, gálico, hidroxibenzoico están presentes en diferentes partes de estas cuatro especies de Eucalyptus, los cuales pueden provocar efectos inhibitorios en el rendimiento después de un periodo de tiempo, debido a la acumulación de estos compuestos. Este autor plantea que a adición de compuestos fenólicos, particularmente ácidos fenólicos, podría incrementar la acidez del suelo y limitar el establecimiento de las plantas.

1.2. Materiales y Métodos.

1.2.1. Selección del área de investigación.

Para la realización de esta investigación se seleccionaron las Empresas Forestales Integrales de Macurije y Guanahacabibes, organizaciones económicas que poseen entre ambas, plantaciones de eucalipto que constituyen más del 75 % del área total plantada en la provincia de Pinar del Río (Departamento de Silvicultura Deleg. Prov., 2006).

La Empresa Forestal Integral de Macurije se encuentra al suroeste de la provincia de Pinar del Río, ocupa las alturas de pizarra de esta región, perteneciente a los municipios Guane y Mantua.

La Empresa Forestal Integral de Guanahacabibes se encuentra en la franja costera sudoeste de la provincia de Pinar del Río, perteneciente al municipio de Sandino.

Las especies de eucaliptos más abundantes en estas empresas son el *Eucalyptus citriodora* Hook, *Eucalyptus saligna* Smith (EFI Macurije "El 21") y *Eucalyptus pellita* F. Muell (EFI Guanahacabibes "Los insinitos")

1.2.2. Características del sitio.

El sitio nombrado "El 21" perteneciente a la Empresa Forestal Integral de Macurije se localiza en el mapa de coordenadas planas (1:25000) en los ejes: X: N163; N164, Y: E265; E266, en el lugar nombrado como Montezuelo del municipio de Mantua. (Datos presentados por: Departamento de Silvicultura de la Empresa Forestal Integral de Macurije, 2007), (Laboratorio Provincial de Suelos del MINAGRI, 2007).

La temperatura media anual de este sitio es de 25,7°C; las precipitaciones anuales son de 1312 mm, los meses de mayor déficit hídrico son noviembre, diciembre y enero; con vientos predominantes del norte. El suelo es del tipo esquelético, variedad Loam arenoso. El marco de plantación es de 2 x 2.5 metros. El sitio es considerado de calidad II. (Departamento de Silvicultura de la Empresa Forestal Integral de Macurije, 2007), (Estación Meteorológica "Isabel Rubio", 2007), (Laboratorio Provincial de Suelos del MINAGRI, 2007).

El sitio "Los Insinitos" perteneciente a la Empresa Forestal Integral de Guanahacabibes se ubica a siete kilómetros del Puerto La Fe en el municipio de Sandino; localizado en el mapa de coordenadas planas (1:25000) en los ejes X: N167; N168, Y: E247; E248, (Departamento de Silvicultura de la Empresa Forestal Integral de Guanahacabibes, 2007), (Laboratorio Provincial de Suelos del MINAGRI, 2007).

La temperatura media anual es de 25 °C, con precipitaciones anuales de 1423 mm, el período de mayor déficit hídrico es de noviembre a abril. El suelo es del tipo arenoso – cuarcítico, variedad arena, con un marco de plantación de 2 x 2.5 metros. El sitio es considerado de calidad II. (Departamento de Silvicultura de la Empresa Forestal Integral de Guanahacabibes, 2007), (Estación Meteorológica "La Bajada", 2007), (Laboratorio Provincial de Suelos del MINAGRI, 2007).

1.2.2. Determinación de los volúmenes de madera y corteza para las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

La determinación de los volúmenes de corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell ubicadas en la Empresa Forestal Integral Macurije y la Empresa Forestal Integral Guanahacabibes se realizó a través de la medición de parámetros dasométricos más sencillos como el diámetro la altura y el grosor de corteza.

Mediante el muestreo aleatorio se levantaron parcelas de 500 m² (20x25 m) al azar para cada una de las especies. El levantamiento de las parcelas fue realizado con una cinta métrica de 30 metros de longitud.

1.2.3. Cálculo de los parámetros dasométricos.

En cada una de las parcelas se efectúa la medición total de los parámetros dasométricos, con el auxilio de una forcípula simple, un hipsómetro de Hagar y un medidor de corteza, para la determinación del diámetro a una altura de 1.30 m, la altura de los árboles y el grosor de corteza respectivamente.

1.2.3.1. Técnica de medición del diámetro con Forcípula simple.

Se midió la altura desde el suelo hasta 1.30 metros y se colocó la forcípula perpendicular al árbol, sin presionar mucho, puesto que ese diámetro se toma con corteza. En caso de los árboles bifurcados se tomaron los valores de diámetro por separado.

1.2.3.2. Técnica de medición de la altura con el Hipsómetro de Hagar.

Se infirió la altura del árbol entre 15, 20, 30 y 40 metros para determinar la escala graduada a utilizar en la medición de la altura real del árbol.

1.2.3.3. Técnica de medición de la corteza con el medidor de corteza.

El medidor de corteza se colocó perpendicular a la altura de 1.30 metros por lados opuestos, se tomaron los dos valores y se determinó el valor promedio.

Altura media. (m)

$$\bar{h} = \frac{\sum x}{n} \quad (1.1)$$

Área basal por hectárea. (m²)

$$G / ha = \frac{1}{an} \sum_{j=i}^n \sum_{i=1}^{z_j} g_{ij} \quad (1.2)$$

Donde:

a= área de la parcela en há.

n= número de parcelas.

g_{ij}= área basal de cada uno de los árboles en cada clase diamétrica.

Grosor de corteza. (cm)

$$d = D - 2b \quad (1.3)$$

Donde:

d= diámetro sin corteza.

D= diámetro con corteza.

b= grosor de corteza.

Volumen. (m³/ha)

$$V = G * h * f \quad (1.4)$$

$$V / ha = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{z_j} v_{ij} \quad (1.5)$$

Donde:

V_{ij}= volumen de cada uno de los árboles en la clase diamétrica.
 a= área de la parcela en há.
 n= número de parcelas.

Número de árboles por hectáreas.

$$N / ha = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^n Z_j \quad (1.6)$$

1.2.4. Toma de las muestras de corteza y preparación para su análisis químico.

Se seleccionaron de forma aleatoria cinco parcelas de 500 m², en plantación homogénea, de ellas se tomaron 15 árboles con características morfológicas semejantes. Del fuste comercial de cada árbol se obtuvieron discos de 20 cm a 25 %, 55 % y 85 % de altura, se descortezaron manualmente.

La corteza proveniente de los discos de cada especie, se reduce a partículas utilizando un molino de martillo, se seca al aire, se mezclan las diferentes alturas por especies logrando una muestra homogénea del árbol completo, la muestra es tamizada para obtener porciones de dimensiones entre 0,4 mm a 0,6 mm, según Norma Estándar TAPPI, T-264 – cm – 97. Se conserva en frascos con tapa para su posterior análisis químico (TAPPI, 1998).

1.2.5. Análisis químico.

1.2.5.1. Determinación del contenido de humedad.

La determinación del contenido de humedad en la corteza se realiza mediante el método gravimétrico, calentando en la estufa la muestra a temperatura de 103 ± 2 °C durante tres horas hasta obtener masa constante, de acuerdo a la Norma Estándar T- 264 – cm – 97. (TAPPI, 1998).

$$\%H = \frac{A-B}{A-C} . 100 = \frac{g \text{ agua}}{g \text{ muestra}} . 100 \quad (1.7)$$

Donde:

- A: crisol más masa de muestra original.
- B; crisol más masa de muestra seca.
- C: Crisol vacío.

1.2.5.2. Determinación de las sustancias solubles en agua a temperatura de 95 °C

Para la determinación de sustancias solubles en agua a temperatura de 95 °C se coloca la muestra en un recipiente de 400 ml de capacidad, se cubre con 20, 40, 60, 80 y 100 ml de agua destilada y se refluxa durante 30, 60, 90, 120, minutos a temperatura de 95 °C, respectivamente, se filtra el residuo, se seca en estufa a temperatura de 103 ± 2 °C hasta masa constante, según Norma Estándar T – 207 –om- 93. (TAPPI, 1998).

1.2.5.3. Determinación de las sustancias solubles en agua a temperatura ambiente.

Los contenidos de sustancias solubles en agua a temperatura ambiente se determinan colocando la muestra en un recipiente de 400 ml de capacidad, se cubre con 20, 40, 60, 80 y 100 ml de agua destilada a temperatura ambiente durante 12, 24, 48 y 72 horas, respectivamente con agitación frecuente, se filtra y el residuo se seca en estufa a 103 ± 2 °C hasta masa constante, según Norma Estándar T – 1 – os – 59. (TAPPI., 1998).

1.2.5.4. Determinación del contenido de sustancias solubles en NaOH al 1%

La determinación del contenido de sustancias solubles en disolución de NaOH al 1 % se realiza mezclando la muestra con 100 ml de NaOH al 1 %, la mezcla se refluxa durante los diferentes tiempos de extracción 8h, 12h, 24h y 48h, se filtra y lava con agua caliente, se añade 25 ml de HAc al 10 % y se deja humedecer aproximadamente durante un minuto, esta operación se repita dos veces, se lava nuevamente con agua caliente hasta que la muestra quede libre de ácido, comprobando con indicador de anaranjado de metilo, se seca en la

estufa a temperatura de 103 ± 2 °C hasta masa constante, según Norma Estándar T-4m. (TAPPI., 1998)

1.2.5.5. Determinación del contenido de sustancias minerales.

El contenido de sustancias minerales fue determinados por el método estandar TAPPI T-15-os-58, (TAPPI, 1998), se pesó 1g de la muestra en un crisol con tapa llevado a peso constante, y se colocó en una mufla a 650°C durante un tiempo mayor de 6 horas, se puso a enfriar en la desecadora hasta peso constante. Para determinar el por ciento de ceniza se utilizó la expresión:

$$\%C = \frac{F - G}{B - G} \cdot 100 = \frac{g \text{ ceniza}}{g \text{ muestra}} \cdot 100 \quad (1.8)$$

Donde:

F: masa en gramos del crisol más ceniza.

G: masa en gramos del crisol vacío.

B: masa en gramos del crisol más muestra.

El por ciento de **carbono fijo** (Cf), se determinó por diferencia en base al 100%.

1.2.5.6. Determinación del contenido de sustancias tánicas.

Al extracto concentrado se le adiciona, 10 ml de agua destilada, 4 ml de formaldehido (37%) y 10 ml de HCl 2 mol/l, se refluja durante 30 min. Se filtra y se coloca en la estufa a 103 ± 2 , hasta obtener peso constante. (Mori, et al. 2003)

$$\% T = (P_2/P_1) \times 100 \quad (1.9)$$

Donde:

% T: contenidos de sustancias tánicas (%);

P1: Peso de la muestra (g)

P2: Peso seco do precipitado tanino-formaldeído (g)

1.2.5.7. Obtención del material libre de extraíble.

Se realizó mediante la extracción seriada de la muestra, empleando como disolvente para la extracción, tolueno – etanol 2:1 durante 8 horas, seguida de

la extracción en etanol al 95% por cuatro horas y finalmente se extrae con agua a 95°C durante dos horas, (Orea, 2000).

1.2.5.8. Determinación de lignina insoluble en ácido.

Se pesó un gramo de muestra libre de extraíble y se colocó en un matraz erlenmeyer, añadiéndole 15 ml de disolución de ácido sulfúrico al 72%. La mezcla se agitó por dos horas, a intervalos de reposo y agitación, transfiriéndose posteriormente a un balón, añadiéndole agua destilada hasta una concentración de un 3%. Se sometió a ebullición, a reflujo, durante 4 horas. Finalmente se filtró el sólido obtenido. Se lavó la lignina libre de ácido con agua caliente y se secó en la estufa a temperatura de 60°C, hasta peso constante. (TAPPI 1992). El por ciento de lignina se determinó mediante:

$$\%L = \frac{A.100}{W} = \frac{g \text{ lignina} . 100}{g \text{ muestra}} \quad (1.10)$$

Donde:

A: gramos de lignina.

W: gramos de muestra seca en la estufa.

1.2.5.9. Determinación de celulosa. (Método de Kürshner-Hölfer)

Se pesó un gramo de muestra libre de extraíble, se colocó en un matraz elermeyer de 100 ml de capacidad y se le añadieron 25 ml de mezcla reactiva (disolución de ácido nítrico – etanol en proporción de 1:4) llevándose a reflujo durante una hora, repitiéndose tres veces la operación. Después se añadieron 25 ml de disolución al 1% de KOH y se puso a reflujo por 30 min. Se filtró en embudo Buchner, lavándose cuatro veces con agua destilada caliente el residuo resultante se lavó con una mezcla etanol - acetona en proporción 1:1, secándose en la estufa 60°C por un tiempo de 15 min. El por ciento de celulosa se determinó según:

$$\%Celulosa = \frac{C.100}{W} = \frac{g \text{ celulosa} . 100}{g \text{ muestra}} \quad (1.11)$$

Donde:

C: gramos de celulosa.

W: gramos de muestra seca en la estufa.

1.2.5.10. Análisis mediante Calorimetría Diferencial de Barrido. (DSC)

Se tomaron muestras de 10 mg. Las medidas termoanalíticas fueron obtenidas en un equipo de DSC Q100 V9.0 Build 275. Los termogramas se obtuvieron con un intervalo de temperatura entre 25 y 450°C, a una velocidad de 10°C/min

1.2.5.11. Análisis termogravimétricos. (TG)

Muestras de aproximadamente 3g fueron medidas en un equipo de TG-DTA marca METTLER TOLEDO modelo TGA/SDTA851e/LF/1600. El intervalo de temperatura utilizada fue entre 25 y 600°C, con una velocidad de calentamiento de 10°C/min.

1.2.6. Análisis estadístico.

El análisis estadístico realizado partió de la necesidad de explicar el comportamiento de cada variable analizada y, conocidos estos, establecer los nexos que existen entre ellas.

Esto presupone, en primer lugar, la determinación de los parámetros estadísticos fundamentales: media, desviación estándar y varianza. La aplicación de pruebas de normalidad permite establecer el ajuste o no de los datos empíricos a una distribución normal, lo cual se convierte en punto de partida para definir la posible utilización de pruebas de hipótesis paramétricas y no paramétricas. Siempre que las variables se ajustaron a la distribución normal se utilizaron los análisis de varianza (ANOVA) para comparar las variables estudiadas.

La selección del mejor sistema de solvente se realizó a través de las comparaciones múltiples de Bonferroni basado en la distribución t de Student y en la desigualdad de Bonferroni.

El análisis bifactorial se utilizó para evaluar en el mejor sistema de solvente el efecto de la variable tiempo y la variable relación sólido/líquido sobre el rendimiento contenido de sustancias extraíbles y el efecto de interacción entre las variables independientes.

A las propiedades fisicoquímicas de la corteza de las especies estudiadas y las del residuo de la extracción con NaOH 1% se les aplicó del rango múltiple de

Duncan para determinar las diferencias existentes entre ellas. Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS para Windows Versión 11.5.

1.3. Resultados y discusión.

1.3.1. Volúmenes de corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell de la EFI de Macurije y de Guanahacabibes.

En la Tabla 1.1 se muestran los volúmenes de corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell de la EFI de Macurije y de Guanahacabibes.

Tabla 1.1. Volumen de corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell

Especies	\bar{d}	\bar{b}	\bar{h}	\bar{G}	Vcc	Vsc	Vc	N/ha	Vc/ Vsc
<i>E. saligna</i> Smith	24,0	1,3	24,0	4,5206	357,3069	282,8536	74,4533	1140	0.2632
<i>E. pellita</i> F. Muell	27,0	1,2	21,9	3,7066	232,4340	194,6439	37,7901	766,7	0.1941
U/M	cm	cm	m	m ² /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha		

*b – grosor de corteza.

* Para parcelas de 500 m².

Se evidencia que la especie más promisoría para la obtención de este surtido es *Eucalyptus saligna* Smith seguida del *Eucalyptus pellita* F. Muell. El diámetro medio de *Eucalyptus pellita* F. Muell resulta superior al del *Eucalyptus saligna* Smith, no ocurre así para la altura media y el número de árboles por hectáreas.

Como se observa en la Tabla 1.1 la relación Vc/Vsc, resulta ser mayor para *Eucalyptus saligna* Smith. La relación Vc/Vsc depende de la edad, de la especie, del manejo, de la densidad de plantación y el sitio, según, Monteoliva *et al.* (2001) en su estudio sobre la densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera de una plantación de *eucalyptus globulus* en la provincia de Buenos Aires, Argentina, los rangos Vc/Vsc obtenidos en las especies estudiadas en este trabajo están cercanos al rango obtenido por el autor antes mencionado.

El suelo donde crecen las especies forestales a las que se les realizaron las determinaciones dasométricas presentan ligeras diferencias. La especie *Eucalyptus saligna* Smith crece en un suelo del tipo esquelético, variedad Loam arenoso y el suelo donde crece la especie *Eucalyptus pellita* F. Muell, es

del tipo arenoso – cuarcítico, variedad arena, y ambos sitios son considerados de grado II. Existen pequeñas diferencias también de tipo climático. Estas pequeñas diferencias relacionadas con estos dos factores antes señalados (sitio y clima), podrían contribuir, conjuntamente con las diferencias genéticas que existen entre estas dos especies y con la densidad de población, a la diferencia entre los valores de V_c/V_{sc} obtenidos para cada especie.

La determinación de la relación V_c/V_{sc} permite estimar el volumen de corteza producido o a producir, teniendo en cuenta que generalmente se establece como plan en la producción, el volumen de madera a producir.

1.3.2. Estimación de los volúmenes de corteza producidos.

En el Gráfico 1.1 se muestran un estimado los volúmenes de corteza de *Eucalyptus saligna* Smith producidos en la EFI de Macurije desde el 2002 hasta el 2006, los cuales actualmente no son utilizados por la empresa, si se considera que el término **Residuo** se aplica a todo aquel material generado por las actividades de producción y consumo, el cual no alcanza ningún valor económico en las condiciones particulares de tiempo y de lugar en que se ha producido, y que es preciso recoger y tratar por razones de salud y de contaminación ambiental, para evitar ocupaciones innecesarias de espacio, o simplemente, por motivaciones estéticas, (Abad y Puchades, 2002), la corteza actualmente en nuestra provincia es valorada como un residuo forestal.

En la mayoría de los casos se acumula por ciertos periodos de tiempo, lo que trae como consecuencias grandes afectaciones al recurso suelo, provocado por la lixiviación que el agua de lluvia ejerce en la corteza, liberando concentraciones significativas de metabolitos secundarios, fundamentalmente fenoles y polifenoles.

Visualmente en el espacio dedicado a la etapa de descortezado, se aprecia cambios de coloración en las aguas acumuladas y escasa o nula vegetación.

Seguido a la acumulación de estos residuos, con frecuencia se incineran, provocando también otros impactos ambientales negativos que son característicos de este método de tratamiento de residuos sólidos.

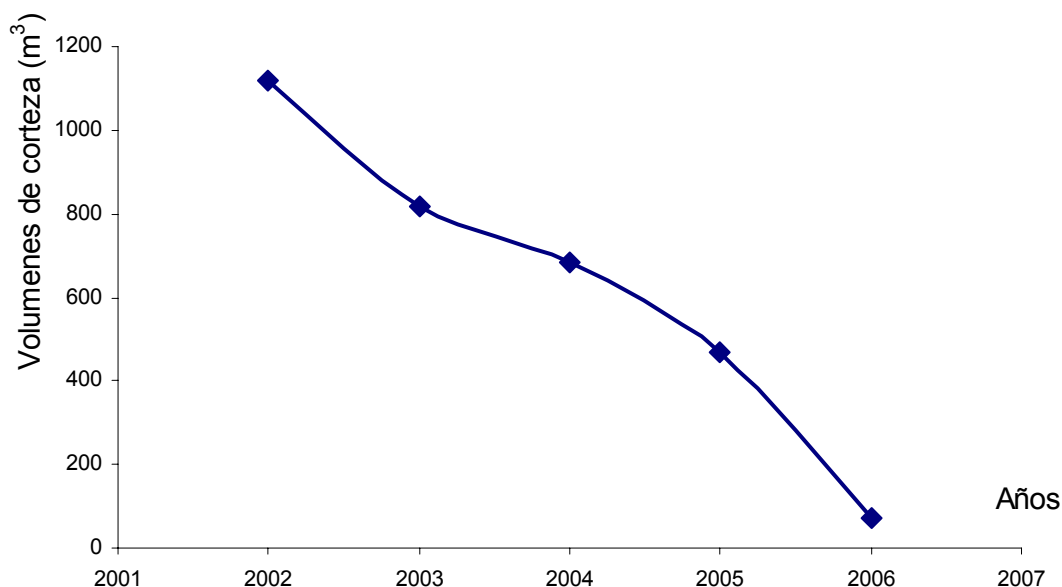


Gráfico 1.1. Estimado de los volúmenes de corteza de *Eucalyptus saligna* Smith producidos en la EFI de Macurije desde el 2002 hasta el 2006.

Los volúmenes de corteza estimados, según el gráfico, sobre todo los correspondientes al año 2001, son elevados, los cuales han disminuido como se observa en el Gráfico 1.1, al disminuir la producción de madera de eucalipto, por la disminución de demanda de los poste de tendido eléctrico, principal producción de la industria de preservación de la madera de EFI de Macurije en la provincia de Pinar del Río, Cuba. La escasa demanda de este producto, esta dado por calidad de la preservación de la madera. En esto momentos esta industria se encuentra en fase de inversión de una nueva tecnología brasileña, la cual, aumentaría la calidad del producto, así como su producción, incrementándose también los volúmenes de corteza de Eucaliptos.

Es necesario tener presente que uno de los parámetros más utilizados en la actualidad para medir el grado de desarrollo de un país es la producción de residuos. La tasa actual de generación de residuos es insostenible a largo plazo. El grave impacto medioambiental de los residuos y el progresivo agotamiento de los recursos naturales, hacen necesario afrontar un cambio profundo en los hábitos de producción y consumo, (Abad y Puchades, 2002).

1.3.3. Determinación del tamaño de partículas

El Gráfico 1.2 muestra la distribución de partículas por tamices, para la corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell, después de haber pasado por la etapa de molienda. Puede observarse que para ambas especies más del 67% de las partículas tienen un diámetro menor que 1mm.

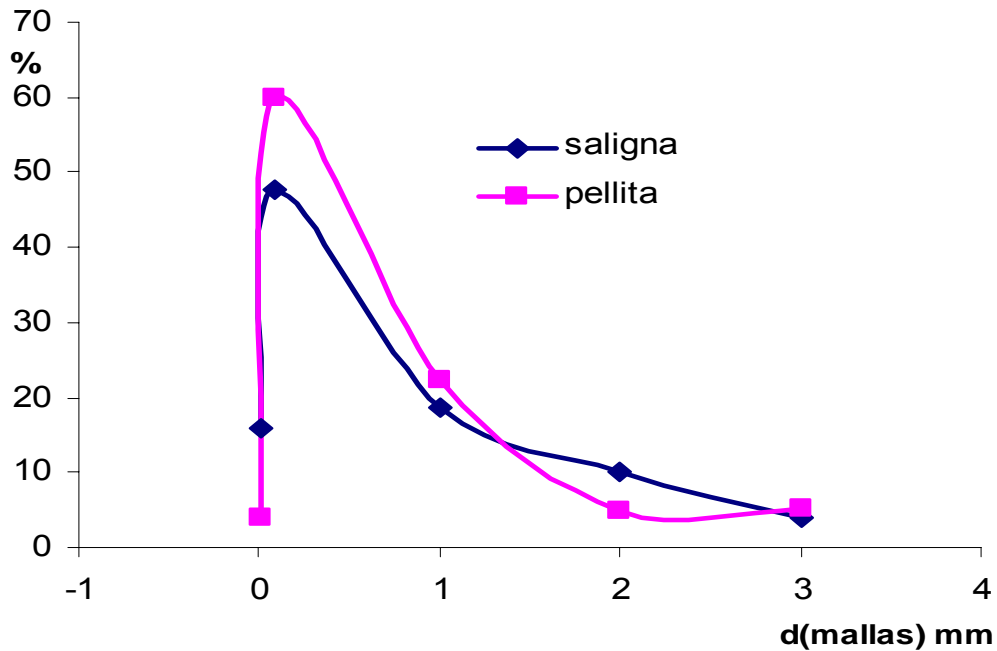


Gráfico 1.2. Descripción del tamaño de partículas de la corteza de la especie *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith.

Vázquez *et al.* (2001) demuestran, que existe una estrecha relación entre el tamaño de las partículas y la difusión de las sustancias extraídas a través de la partícula, pero también con las diferencias composicionales. Este autor obtuvo que el incremento de tamaño de partícula, reduce el contenido de aromáticos y de azúcares e incrementa el contenido de lignina.

La fracción más pequeña se deriva fundamentalmente de la corteza más externa, la cual posee un contenido de polifenoles mayor que la corteza más interna.

Los valores de diámetros medio que presenta el material de partida es algo pequeño, lo que es recomendable para nuestros fines, compostaje, ya que favorece la degradación de la materia orgánica, aumentando la superficie

específica y, por consecuencia la capacidad de retener aire y agua para facilitar el proceso de biodegradación realizado por los microorganismos, (Röben, 2002).

El diámetro óptimo de partícula para el compostaje según Rink *et al.* (1992), es de 13 mm

1.3.4. Características de la extracción en agua a temperatura ambiente para la corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

En el Gráfico 1.3 se observa los valores de extraíbles en agua a temperatura ambiente de la corteza del *Eucalyptus saligna* Smith para diferentes tiempos de extracción y relaciones sólido/líquido, donde se aprecia que los contenidos de extraíbles en agua a temperatura ambiente aumentan con el tiempo de extracción.

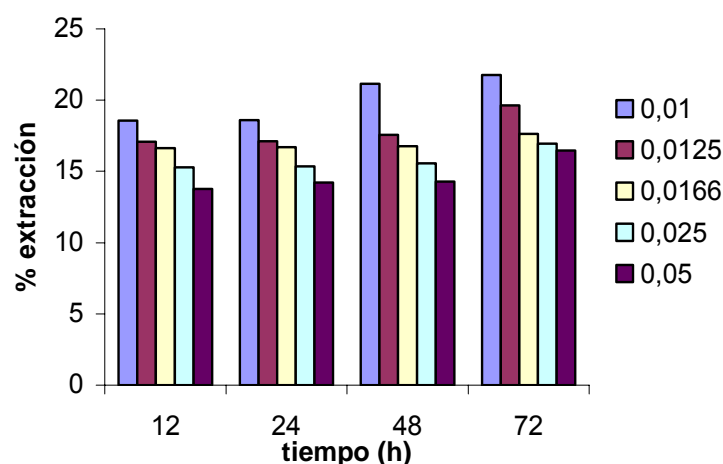


Grafico 1.3. Extraíbles en agua a temperatura ambiente para corteza del fuste comercial del *Eucalyptus saligna* Smith a diferentes tiempos de extracción y relaciones sólido/líquido.

Se puede observar también como de forma contraria al tiempo de extracción, el contenido de sustancias extraíbles aumenta en la medida que disminuye la relación sólido/líquido, los valores mayores se corresponde con la relación sólido/líquido 1/100 y los menores para 1/20.

Los valores de extraíbles en agua a temperatura ambiente de la corteza del *Eucalyptus pellita* F. Muell para diferentes tiempos de extracción y relaciones sólido/líquido se observa en el Gráfico 1.4, con igual comportamiento que para

las extracciones en agua a temperatura ambiente para corteza del fuste comercial del *Eucalyptus saligna* Smith, aunque con contenidos de extraíbles menores.

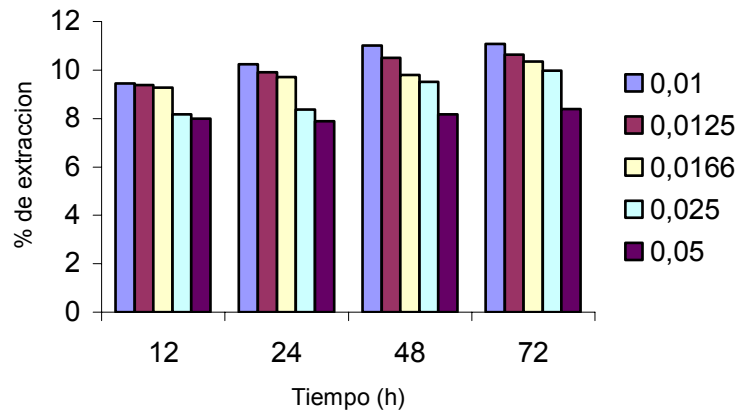


Gráfico 1.4 Extraíbles en agua a temperatura ambiente para corteza del fuste comercial del *Eucalyptus pellita* F. Muell a diferentes tiempos de extracción y relaciones sólido/líquido.

De forma general para las dos especies los valores tan bajos de los contenidos de extraíbles aquí mostrados son considerados poco atractivos desde el punto de vista industrial. Este bajo contenido de extraíbles, ha sido atribuido según Pizza, (1994), citado por Vázquez *et al.* (2001), a los altos niveles de taninos de alto peso molecular y a los procesos de polimerización y condensación produciendo flavofenolos inextraíbles que impiden su extracción.

1.3.5. Características de la extracción en agua a 95°C para la corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

Los valores de extraíbles en agua a 95°C de la corteza del *Eucalyptus saligna* Smith se muestran en el Gráfico 1.5, para diferentes tiempos de extracción y relaciones sólido/líquido.

Se observa el aumento de los valores de extraíbles con el tiempo de extracción y de forma contraria, una disminución de estos valores con el aumento de la relación sólido/líquido, los valores mayores se corresponde también al igual que con la extracción a temperatura ambiente, con la relación sólido/líquido 1/100 y los menores para 1/20.

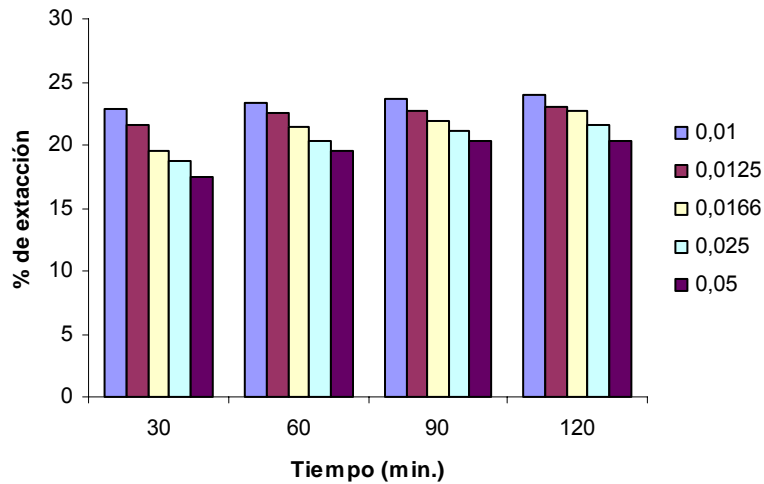


Grafico 1.5. Extraíbles en agua a 95°C para corteza del fuste comercial del *Eucalyptus saligna* Smith a diferentes tiempos de extracción y relaciones sólido/líquido.

Igual comportamiento al anterior analizado se presenta en la extracción con agua a 95°C para corteza del fuste comercial del *Eucalyptus pellita* F. Muell a diferentes tiempos de extracción y relaciones sólido/líquido. Los contenidos de extraíbles en agua a 95°C para corteza del fuste comercial del *Eucalyptus pellita* F. Muell son menores que los de la corteza del *Eucalyptus saligna* Smith.

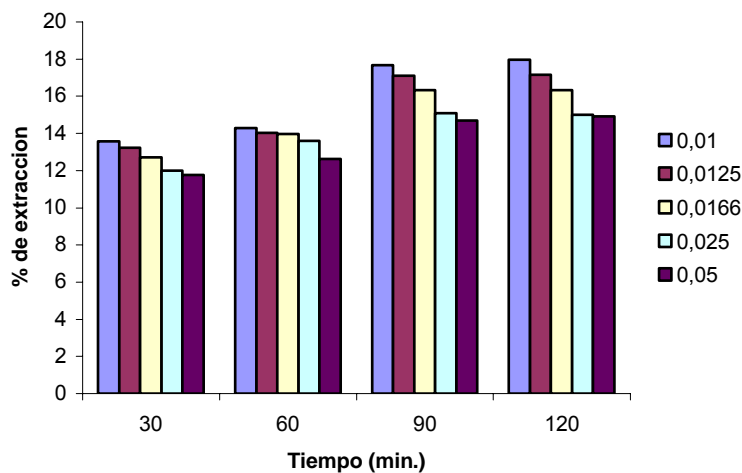


Gráfico 1.6. Extraíbles en agua a 95°C para corteza del fuste comercial del *Eucalyptus pellita* F. Muell a diferentes tiempos de extracción y relaciones sólido/líquido.

Valores similares a los obtenidos, fueron encontrados por Orea, (2000), para la corteza de estas mismas especies forestales, por Mori *et al.* (2003), para la corteza de Barbatimão en Brasil a 70°C y a 100°C y para Vital *et al.* (2004) para el *Eucalyptus pellita* F Muell y el *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden y para

Poblete y Roffael, (2004) en la determinación del contenido de extraíbles en algunas especies nativas chilenas.

Si se compara estos valores con los obtenidos para las extracciones en agua a temperatura ambiente se observa que los valores mayores corresponden a las extracciones realizadas en agua a 95°C, lo que indica que la temperatura ejerce una influencia positiva en la solubilidad en agua de las sustancias polares presentes en la corteza de estas especies.

1.3.6. Características de la extracción en NaOH al 1 % a de la corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

En este tipo de extracción, al igual que en las dos anteriores se observa, también, el aumento de los valores de extraíbles con el tiempo de extracción y una disminución de estos valores con el aumento de la relación sólido/líquido. Los valores mayores de contenido de extraíbles, como se observa en el Gráfico 1.7 se corresponde también al igual que con la extracción a temperatura ambiente y a 95°C, con la relación sólido/líquido 1/100 y los menores para 1/20.

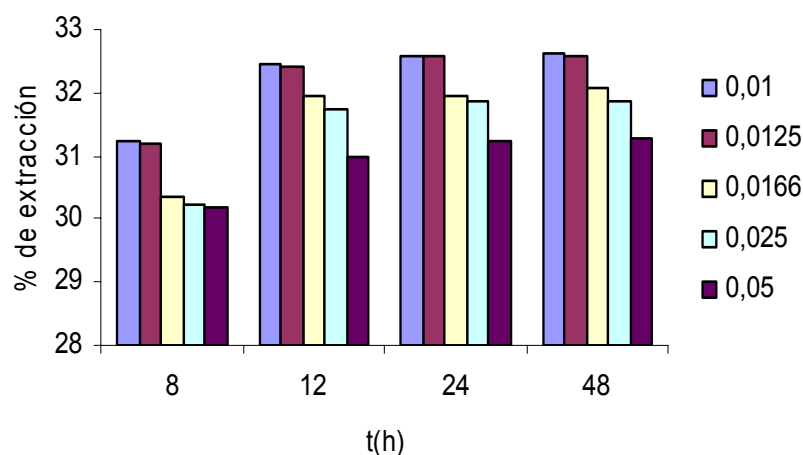


Gráfico 1.7. Contenidos de sustancias extraíbles en disolución de NaOH a concentraciones de 1 %, a diferentes tiempos de extracción y relaciones sólido/líquido en la corteza del fuste comercial de *Eucalyptus saligna* Smith.

En el Gráfico 1.8 se observa una variación similar de los contenidos de extraíbles en disolución de NaOH 1% de la corteza del fuste comercial de *Eucalyptus pellita* F. Muell con la variación de las diferentes relaciones

sólido/líquido y para los diferentes tiempos, a la mostrada para la corteza de *Eucalyptus saligna* Smith en el Gráfico 1.7. Aunque los valores de los contenidos de extraíbles en este sistema de solvente son mayores para la corteza de *Eucalyptus saligna* Smith.

Resultados similares son presentados por Orea, (2000), para la corteza de estas mismas especies forestales, por Vázquez *et al.* (2001), en la extracción alcalina de la corteza del *pinus pinaster*, por Mori *et al.* (2003) en la cuantificación de taninos en la corteza de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*) y por Poblete y Roffael, (2004) para la corteza de diferentes especies nativas chilenas. Estos autores utilizan temperatura de 70 y 100°C.

Pires *et al.* (2006) obtiene valores similares en el bagazo, también un residuo lignocelulósico, solo que al igual que en este trabajo utiliza, diluciones de NaOH a temperatura ambiente para aumentar el valor nutritivo del bagazo de la caña de azúcar, como una alternativa para la alimentación de los rumiantes.

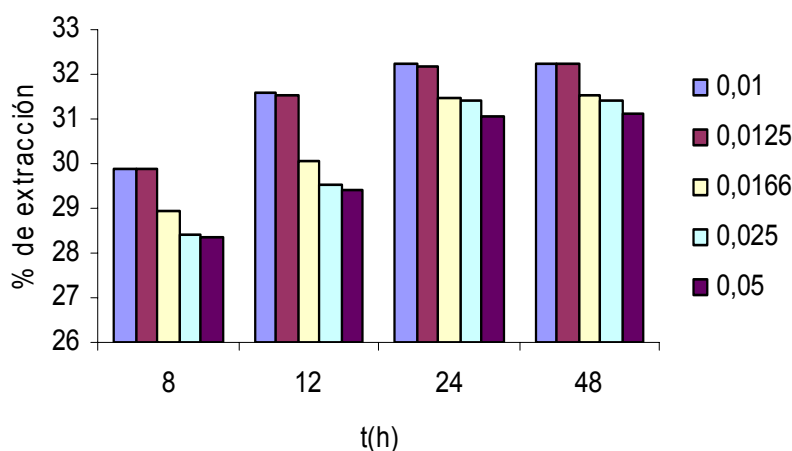


Grafico 1.8. Contenidos de sustancias extraíbles en disolución de NaOH a concentraciones de 1 %, a diferentes tiempos de extracción y relaciones sólido/líquido en la corteza del fuste comercial de *Eucalyptus pellita* F. Muell.

En los Gráficos 1.7 y 1.8, se puede apreciar como los incrementos más significativos de los contenidos de extraíbles con el tiempo ocurren fundamentalmente entre las 8 y las 12 horas, Voronova *et al.* (2004), plantea que la extracción de este tipo de extraíble ocurre casi instantáneamente, lo que visualmente se pudo comprobar.

Al analizar el factor especie a través del análisis de comparaciones múltiples para todas las extracciones realizadas con un $\alpha=0.05$, (Anexo1) se apreció que en la extracción en agua a temperatura ambiente y en agua a 95°C, la corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith es la que presenta mayores contenidos de sustancias extraíbles, seguida de *Eucalyptus pellita* F. Muell.

Las diferencias que muestran las especies pueden estar dadas a características genéticas, que según Lama Gutiérrez, (1976) presenta moderada variación.

Orea, (2000) citando a Vázquez *et al.* (1987) plantea que la composición química de la corteza puede estar influenciada por la localización, edad, condiciones de crecimiento del árbol y los métodos de obtención de las muestras.

En este mismo análisis estadístico se demostró que en la extracción con NaOH no se encontraron diferencias significativas entre las dos especies.

En las tres extracciones realizadas, para cada especie, se observa que los mejores resultados se obtienen, para la extracción con NaOH al 1%. (Orea, (2000), Mori *et al.* (2003) y Poblete y Roffael, (2004)). Estos altos valores obtenidos en los contenidos de extraíbles en las extracciones con NaOH, están dado porque en la lixiviación de la corteza en disoluciones alcalinas, no solo se extrae parte de los metabolitos secundarios que cumplen funciones importantes en la corteza como la de protección a plagas y enfermedades, sino que también parte de la lignina sufre modificaciones en su compleja estructura, según plantea Voronova *et al.* (2004) y Chen *et al.* (2005), entonces parte de los compuestos fenólicos que integran este polímero, también incrementan el contenido de extraíbles.

Un análisis bifactorial realizado para las dos especies de manera independiente optimiza el proceso de extracción de la corteza de las especies con NaOH al 1%. Y se obtiene la relación significativa que existe entre las variables tiempo y la variable relación sólido/líquido, (Ver anexo 2). Se infiere de este análisis que para ambas especies no existen diferencias significativas entre el rendimiento

de sustancias extraíbles obtenido a las 24 y 48 horas, ni entre los rendimientos obtenidos con una relación sólido/líquido 1/80 y 1/100.

El análisis realizado anteriormente permite proponer la utilización de un tiempo de extracción de 24 horas y una relación sólido/líquido 1/80 para realizar la escala de banco, propuesta que sería factible desde el punto de vista económico.

1.3.7. Contenido de sustancias tánicas.

En el Gráfico 1.9 se observa el contenido de taninos que reaccionan con formaldehído extraídos en agua a temperatura ambiente, agua a 95°C y en NaOH al 1% para la corteza de especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell. En el cual se aprecia que la reactividad de los taninos en formaldehído, en correspondencia con el contenido de extraíbles, es mayor en la extracción con NaOH, seguida de la extracción con agua a 95°C y agua a temperatura ambiente.

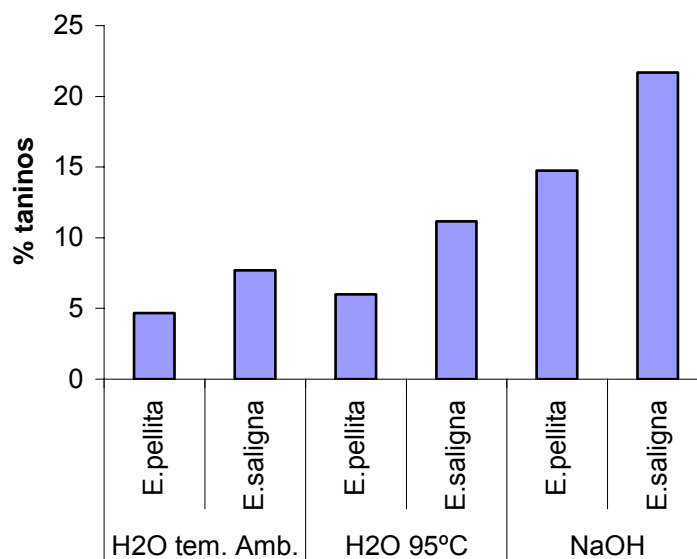


Gráfico 1.9. Reactividad de los taninos en formaldehídos extraídos en diferentes medios de extracción en la corteza de especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

Los mayores contenidos de taninos que reaccionan con formaldehído, en todos los medios de extracción, corresponde a la corteza del fuste comercial del *Eucalyptus saligna* Smith.

Estos resultados reafirma las ventajas de la extracción en NaOH 1% sobre las demás extracciones para su uso industrial, la cual no solo es tentativa por los altos contenidos de extraíbles sino también por la reactividad de los taninos extraídos.

Vital *et al.* (2004) obtuvo un comportamiento similar para la corteza de *Eucalyptus pellita* F Muell y *Eucalyptus grandis* en diferentes medios de extracción, y a diferentes temperaturas, al igual que Vázquez *et al.* (2001), en la extracción alcalina de la corteza del *pinus pinaster*, aunque, en ambos casos, los valores obtenidos fueron superiores a los obtenidos en el este trabajo, lo cual esta relacionado con la concentración del extracto, al utilizar relaciones sólido/líquido mayores.

1.3.8. Extracción a escala de banco en NaOH al 1 % a de la corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

En la Tabla 1.2 se observa el contenido de extraíbles a escala de banco de la corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell en NaOH al 1 %. Utilizando un tiempo de extracción de 24h y una relación sólido líquido 1/80

Tabla 1.2. Contenido de extraíbles a escala de banco y de laboratorio en NaOH al 1 % a de la corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

	<i>E. saligna</i> Smith (%)	<i>E. pellita</i> F. Muell (%)
Extraíbles a Escala de Laborat.	32.58±0.05	32.19±0.03
Extraíbles a Escala de Banco	34.24±0.03	32.97±0.07
Desv. estándar	0.21	0.70

En la misma puede verse como los contenidos de extraíbles a escala de banco son ligeramente superiores a los obtenidos a escala de laboratorio, las diferencias están dadas, por las posibles pérdidas que se pudieron haber ocurrido a escala de banco, a pesar de las precauciones tomadas. Como los volúmenes que se manejan son mayores, mayores son también las posibles pérdidas, que se suman a los valores de los contenidos de extraíbles.

1.3.9. Composición química del residuo obtenido en la extracción con NaOH de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

En la Tabla 1.3 se muestran los contenidos de lignina y celulosa de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell y los de la corteza extraída con NaOH al 1%. En ella se observa como los contenidos tanto de celulosa como de lignina en la corteza de estas especies forestales, son mayores, comparada con los contenidos de estos polímeros en el residuo obtenido después de la extracción con NaOH al 1%.

Los contenidos de celulosa, determinados en la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell, según Orea, (2000), son valores relativamente altos comparados con los valores obtenidos por otros autores, lo cual estaba relacionado con las características estructurales de la celulosa en la corteza, los análisis de DSC determinados por este autor, verificaron la impurificación de este polímero con hemicelulosas, dado por la fortaleza de las asociaciones polisacárido-polisacáridos (celulosa-hemicelulosas), lo que provocó el aumento en el contenido de celulosa calculado.

Tabla 1.3. Composición química en la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell y después de la extracción con NaOH al 1%.

Especies		Celulosa	Lignina	Halocelulosas.	Sustancias minerales
		(%)			
E. saligna	C. sin Ext.	58.45±0.4b	18.13±0.04b	81.87±0.01b	5.41±0.03c
	C. Extr.	32.27±2.71a	17.51±0.05a	82.49±0.07c	2.20±0.03a
E. pellita	C. sin Ext	60.00±1.05b	32.37±0.04c	67.20±0.01a	4.32±0.01b
	C. Extr.	35.04±1.05a	17.47±0.5a	82.53±0.6c	2,12.±0.3a
Desv. Estándar		13.47	6.64	6.82	1.47

*Estos valores se calcularon en base a los gramos de muestras sin extraer. En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para p < 0,05. Prueba de comparación de medias de Duncan

Los contenidos de celulosa en el residuo obtenido de la extracción con NaOH al 1% de la corteza *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell son

menores. Según Voronova, *et al.* (2004), en la reacción de la celulosa contenida en un material con una solución de una base, toma lugar el siguiente proceso: absorción del metal álcali por el hidróxido y el agua por la celulosa (lo que también causa la distensión a la celulosa), formación de la celulosa alcalina, disolución de componentes no celulósicos (ligninas y hemicelulosas) del material inicial y la descomposición de la celulosa.

Es posible que la extracción con NaOH al 1% haya contribuido a obtener una celulosa con un mayor nivel de pureza.

La lignina calculada en el residuo obtenido de la extracción con NaOH al 1% de la corteza *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell, también son menores, lo que era de esperar por ser la lixiviación de materiales lignocelulosicos en disoluciones álcalis, un simple método para la eliminación de la lignina. Resultados semejantes son obtenidos por Chen *et al.* (2005) en la determinación de la eficiencia alcalina para el bagazo como residuo, así como Kindsigo, y Kallas, (2006) en estudios realizados sobre la degradación de la lignina en aguas residuales, los cuales obtuvieron buenos resultados utilizando disoluciones de NaOH mas concentradas y elevadas temperaturas. Pires *et al.* (2006), también utiliza, diluciones de NaOH a temperatura ambiente para aumentar el valor nutritivo del bagazo de la caña de azúcar, como una alternativa para la alimentación de los rumiantes.

Las sustancias minerales de la corteza de estas especies forestales después de extraídas con NaOH al 1% muestran valores mas bajos comparados con los de Orea, (2000), calculados para estas mismas especie que crecen en las localidades estudiadas, lo que indica que parte de las sustancias minerales se solubilizaron.

Para los contenidos de lignina, halocelulosa, celulosa y sustancias minerales en de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell extraída con NaOH al 1%, no se encontraron diferencias significativas.

1.3.10. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) para la corteza de *Eucalyptus saligna* Smith extraída en diferentes medios de extracción.

El Gráfico 1.10 muestra la descomposición térmica de la corteza del *Eucalyptus saligna* Smith extraída con varios sistemas de extracción, en agua a temperatura ambiente, agua a 95°C, y en NaOH al 1 %.

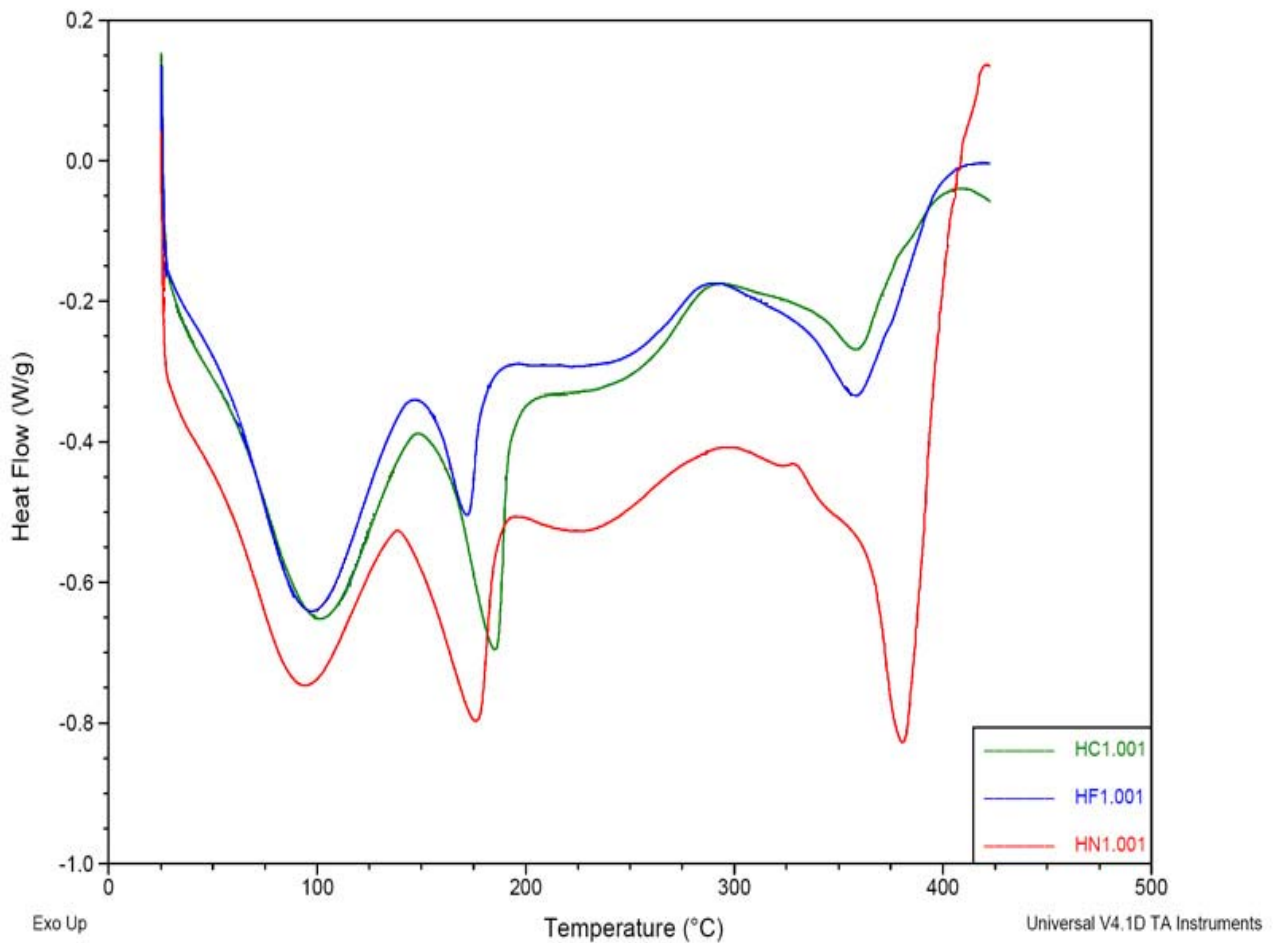


Gráfico 1.10. Calorimetría Diferencial de barrido (DSC) para la corteza *Eucalyptus saligna* Smith extraídas en diferentes medios de extracción, (HC1, agua a 95°C, HF1, agua a temperatura ambiente y HN1, NaOH al 1%)

El termograma señala tres absorciones de calor características para este tipo de material. La primera señal que aparece alrededor de los 100°C y que corresponde a la presencia de agua en la muestra, muy semejante en los tres casos.

La segunda señal que se muestra sobre los 175°C hasta los 200°C, que corresponde a las hemicelulosas, Herrera, (1989) citado por Orea, (2000), y la tercera señal que aparece después de los 350°C hasta los 400°C y que corresponde a las ligninas asociadas a diferentes compuestos fenólicos y a las celulosas. (Orea, 2005)

En la descomposición térmica de la corteza de *Eucalyptus saligna* Smith extraída con agua a temperatura ambiente y con agua a 95°C, salvo pequeñas diferencias, se aprecia en el Gráfico 1.10 para ambos sistemas de solvente un comportamiento tendencial semejante, no ocurre así para la descomposición térmica de la corteza extraída con NaOH al 1%, fundamentalmente para la señal asociada con las temperaturas de absorción de la lignina, lo que sugiere una mayor extracción de los compuestos fenólicos asociados a las ligninas presentes en el material, dado por la polaridad en el sistema de extracción y las características básicas.

Existe una limitada incidencia del sistema de extracción en la segunda señal. Se observa una mayor influencia cuando se emplea el NaOH al 1%, cuya señal es ligeramente más amplia, lo que muestra un reajuste de estas interacciones. Según Voronova *et al.* (2004), el grado de polimerización disminuye cuando estos polímeros son tratados con soluciones alcalinas.

Es importante notar que en la extracción en NaOH al 1 %, la tercera señal resulta más intensa y estrecha, lo que indica la extracción de los derivados fenólicos de diferente naturaleza asociadas a la lignina que están presentes en el material, por lo que la lignina que queda después de la extracción es más homogénea desde el punto de vista estructural. Lo anterior justifica los altos contenidos de extraíbles con NaOH, donde ocurre una lixiviación de materiales lignocelulosicos en este tipo de disolución, según plantea Chen *et al.* (2005), Kindsigo, y Kallas, (2006), Pires *et al.* (2006).

Se comprueba que existe una modificación en la compleja estructura de la lignina y parte de los compuestos fenólicos que integran este polímero incrementan el contenido de extraíbles.

Grevenkin, (2003), plantea, que el grado de modificación de la estructura de la celulosa después de extraída por álcalis, es una función del grado de

eliminación de lignina. Voronova *et al.* (2004), plantea que la modificación de la estructura de la celulosa, esta mas correlacionada con los parámetros caracterizados por la fortaleza de los puentes de hidrógeno. Los análisis de RMN realizado por el autor antes mencionado, muestran que la lignina no forma un enlace químico con la molécula de la celulosa pero crea una estructura conformacional que obstaculiza la movilidad segmental de la macromolécula de la celulosa, provocando un incremento en la rigidez de la macrocadena. La eliminación de la lignina podría disminuir el obstáculo a la movilidad segmental de la macromolécula de la celulosa y disminuir la proporción de grupos hidroxilos en puentes de hidrógenos más fuertes.

Debe considerarse además que los componentes de la pared celular en este tipo de material no se encuentran completamente estructurados como ocurre en el caso de la madera.

1.3.11. Análisis termogravimétrico de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell extraídas en diferentes medios de extracción.

El comportamiento térmico de los materiales lignocelulósicos está estrechamente relacionado a su composición química. La temperatura inicial de descomposición de lignina está entre 110 a 282°C en función de la fuente de origen. (Chen *et al.* 2003)

Los termogramas de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell extraídas con agua a temperatura ambiente y agua a 95°C muestran un comportamiento tendencial similar, en ellos de forma general se observa una primera señal alrededor de los 31°C, una baja temperatura, la cual esta dada por la pérdida de humedad. El pico correspondiente a la segunda señal ocurre alrededor de los 304°C que se debe a la descomposición de hemicelulosa, según Vamvuka *et al.* (2003). La tercera señal y pico más alto ocurre a ardedor de 360°C, debido a la combinación de la descomposición de celulosa y lignina según Chen *et al.* (2003) en su estudio sobre la eficiencia del tratamiento alcalino para el bagazo de caña. (Ver Anexos3, 4, 5)

Si observamos detenidamente los termogramas de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell extraídas con NaOH 1%

en ambos casos se observa, que el pico correspondiente a la segunda señal, alrededor de los 304°C, por la descomposición de hemicelulosas de las cortezas de estas especies estudiadas extraídas con agua a temperatura ambiente y agua a 95°C, se encuentra atenuada, lo cual indica que hubo una incidencia del sistema de solvente de NaOH 1% sobre este polisacárido.

En los termogramas de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell extraídas con NaOH 1% también observamos que existe una disminución de la temperatura a la cual ocurre la tercera señal asociada a las celulosas y las ligninas, mas marcada en la corteza del *Eucalyptus pellita* F. Muell, evidenciando la modificación que también produjo este sistema de solvente sobre la estructura de la celulosa y la lignina.

1.3.12. Potencialidades de la corteza en Kg./t de *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

De los resultados de la composición química de la corteza se puede inferir que la corteza considerada como un residuo forestal, pudiera tener un amplio uso prospectivo. Puede observarse en la Tabla 1.4, las potencialidades de este residuo forestal para las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell teniendo en cuenta los rendimientos obtenidos a escala de banco en la extracción con NaOH.

Tabla 1.4 Potencialidades de la corteza en Kg/t de *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell.

Extraíbles	<i>Eucalyptus saligna</i> Smith		<i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell	
	Extracto	Residuo	Extracto	Residuo
Extracción en NaOH (kg/t)	342.4	657.6	329.7	670.3

Puede sugerirse los extractos de corteza de las especies estudiadas para la obtención de productos químicos, trabajos realizados por Martines Luzardo, (1989), han demostrado que no presentan actividad tóxica ni mutagénica.

Estudios más profundos de estos extractos sobre su uso en industrias farmacéuticas, alimenticias, de preservación de la madera, curtido de pieles, elaboración de cosméticos, adhesivos, adsorbentes, entre otras, serian de gran importancia para la economía nacional.

El interés en la utilización de los taninos de la corteza de diferentes especies forestales ha sido incrementado recientemente como resultado de una mejor comprensión de su estructura química, junto con los beneficios de los efectos económicos y medioambientales (Vásquez et al 2004). (Ver Figura 1.7)

Las modificaciones químicas generadas en la corteza de las especies forestales estudiadas por la extracción alcalina, como son, las variaciones en la estructura de la lignina, demostrado por los análisis de calorimetría diferencial de barrido, por los análisis termogravimétricos y ligeramente, en la estructura de la celulosa, así como la eliminación de las sustancias fenólicas, deben facilitar la degradación de esta materia orgánica por los microorganismos aeróbicos.

Su manejo a través del compostaje como método de tratamiento de los residuales sólido abre en la corteza de estas especies forestales una perspectiva más de uso y posibilita el cierre del ciclo productivo en las empresas forestales, ya sea por su uso como sustrato en sus propios viveros forestales o como remediador de suelos. Debemos tener en cuenta que estos suelos donde crecen las especies forestales estudiadas son suelos de muy baja calidad. La posibilidad de elaboración de compost para viveros forestales insertaría a este residuo sólido al sistema productivo forestal e incrementa su sostenibilidad.

Las amplias perspectivas de uso que presenta la corteza de estas especies y que actualmente son desechadas en las Empresas Forestales Integrales, hacen de este recurso un material atractivo por su carácter renovable y la disminución de la contaminación ambiental que trae consigo su acumulación.

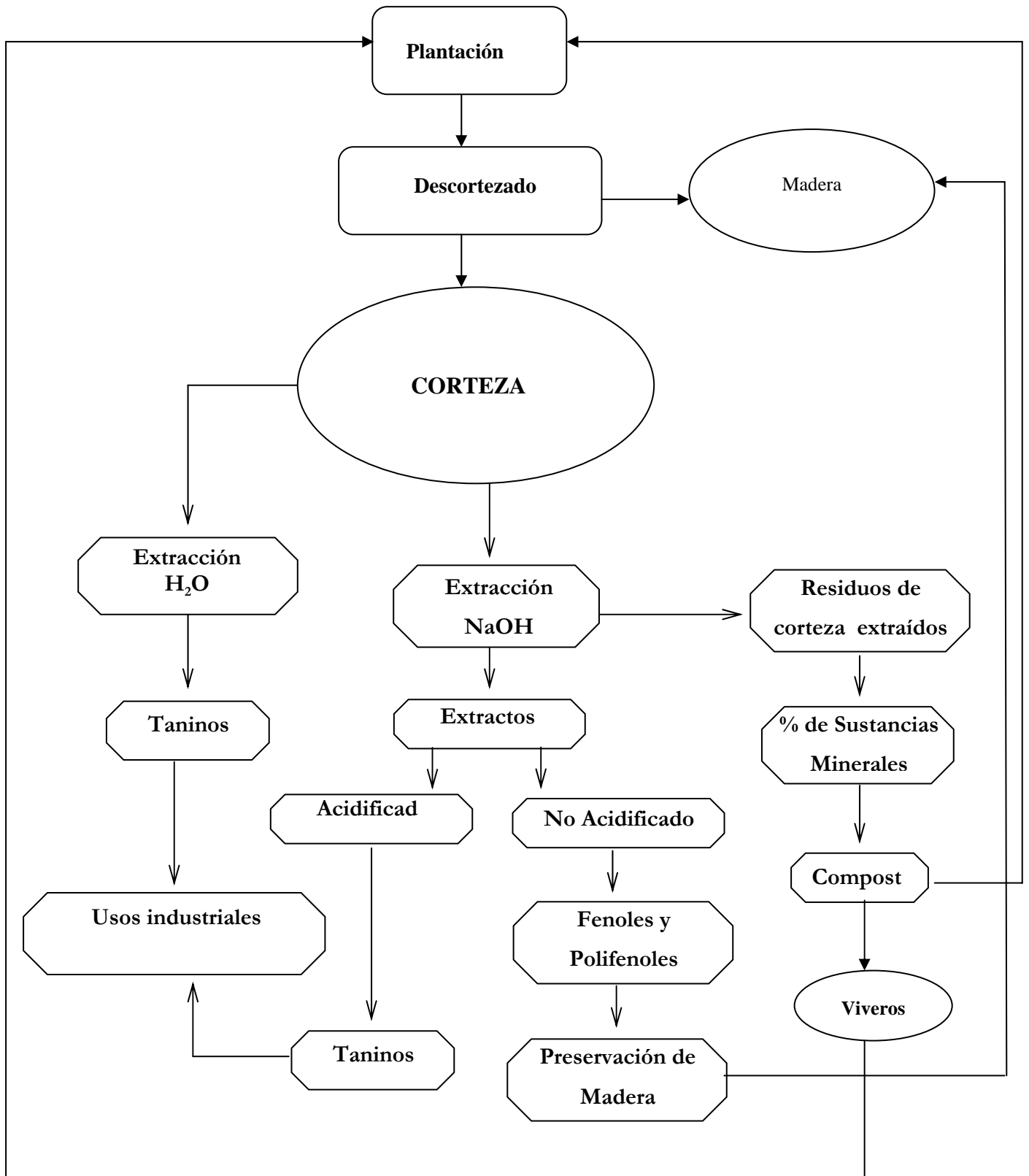


Figura 1.7. Aprovechamiento integral de la Corteza

1.4. Conclusiones.

Los estudios realizados a la corteza del fuste comercial para las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell que crecen en Macurije y Guanacahabibes respectivamente demostraron que:

- La relación V_c/V_{sc} del *Eucalyptus saligna* Smith es mayor que la del *Eucalyptus pellita* F. Muell.
- Los mejores valores de contenidos de extraíbles se obtuvieron en la extracción con la disolución de NaOH al 1% a temperatura ambiente, seguida por la extracción con agua a 95°C y agua a temperatura ambiente.
- Existen variabilidad en los contenidos de sustancias extraíbles entre las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell en la extracción con agua a temperatura ambiente y agua a 95°C, manifestándose diferencias significativas entre ellas.
- Para las extracciones de la corteza de las especies forestales *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell con NaOH al 1% no existen diferencias significativas entre el contenidos de sustancias extraíbles de las dos especies estudiadas.
- Los contenidos tánicos, en correspondencia con el contenido de extraíbles, es mayor, en la extracción con NaOH al 1%, seguida de la extracción con agua a 95°C y agua a temperatura ambiente.
- Los análisis mediante DSC y TG demuestran que los componentes de la pared celular (lignina, hemicelulosas y celulosa) se modifican cuando la corteza de estas especies es extraída con NaOH al 1%, agua a temperatura ambiente y agua a 95° C.
- Los contenidos de lignina y celulosa son menores en el residuo obtenido de la extracción con NaOH al 1% de la corteza *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell, que en la corteza de *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell sin extraer.

- Los contenidos de lignina y celulosa no presentan diferencias estadísticas significativas entre los residuos obtenidos de la extracción con NaOH al 1% de la corteza *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell. lo que posibilita la mezcla de ambas para el compostaje
- .La composición química de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell, permite proponer un aprovechamiento integral que contribuya al aumento de la sustentabilidad del sector forestal.

Capítulo II. Compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell extraída con NaOH 1% y sin extraer.

Entre los diferentes métodos de adecuación de los residuos orgánicos destaca el compostaje (Abad y Puchades, 2002), tanto desde el punto de vista ecológico como económico. Al mismo tiempo que colabora en la gestión de los residuos sólidos, el compostaje es el sistema que más respeta el ciclo de conservación de la materia (Soliva 2001).

Desde el punto de vista agrícola, con el compostaje se obtiene un material maduro, estable e higienizado, con un alto contenido en materia orgánica y componentes húmicos -denominado compost-, el cual puede ser utilizado sin riesgo -por ser inocuo y no contener sustancias fitotóxicas, favoreciendo el crecimiento y el desarrollo de las plantas, (Soliva, 2001).

Se pretende comparar el compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus Saligna* Smith, y *Eucalyptus Pellita* F. Muell (sin extraer y con previa extracción con el mejor sistema de extracción), teniendo en cuenta los parámetros que lo caracterizan.

2.1. Revisión bibliográfica.

2.1.1. Gestión de los residuos

Uno de los parámetros más utilizados en la actualidad para medir el grado de desarrollo de un país es la producción de residuos por habitante. La tasa actual de generación de residuos es insostenible a largo plazo. El grave impacto medioambiental de los residuos y el progresivo agotamiento de los recursos naturales, hacen necesario afrontar un cambio profundo en los hábitos de producción y consumo (Abad y Puchades, 2002).

El término **Residuo** se aplica a todo aquel material generado por las actividades de producción y consumo, el cual no alcanza ningún valor económico en las condiciones particulares de tiempo y de lugar en que se ha producido, y que es preciso recoger y tratar por razones de salud y de contaminación ambiental, para evitar ocupaciones innecesarias de espacio, o simplemente, por motivaciones estéticas (Abad y Puchades, (2002); Climent *et al.* (1996); Otero, (1992)).

Los residuos se pueden clasificar, según su naturaleza, en orgánicos e inorgánicos, destacando los orgánicos por su elevado volumen de producción y su fuerte impacto medioambiental. Existen tres grandes sectores productores de residuos orgánicos (Abad y Puchades, (2002); Climent *et al.* (1996)):

- **Sector primario:** Residuos agrícolas, ganaderos y forestales.
- **Sector secundario:** Residuos industriales (agroalimentarios, textiles, etc.)
- **Sector terciario:** Residuos urbanos (RSU, lodos de depuración, etc.)

La corteza de los árboles es un residuo generado por la industria forestal. Hoy en día el uso de la madera de diferentes especies forestales son amplias y sus perspectivas de uso se incrementan a un ritmo vertiginoso. De acuerdo con la Organización Internacional de Maderas tropicales el consumo de madera es de 350 millones de m³ y 100 millones de m³ provienen de plantaciones forestales; (Silva, 2001).

Altos son los volúmenes de cortezas producidas, en su mayoría establecidas como residuos forestales, con perspectivas a que estos se incrementen.

2.1.2. Problemas Medioambientales derivados de la Acumulación de Residuos.

Los residuos orgánicos tienen un fuerte impacto sobre el medio ambiente, debido principalmente a sus altos contenidos en materia orgánica -inestable e inmadura- y elementos minerales, y a la presencia de compuestos orgánicos recalcitrantes, metales pesados, fitotoxinas, patógenos vegetales y animales, etc., los cuales son altamente contaminantes (Cegarra, *et al.* (1994); Vogtmann *et al.*, (1993), citado por Jiménez, (2004)). Estas afectaciones son:

- Alteración del paisaje y ocupación del territorio, produce sensación de abandono y suciedad. Además, el uso de vertederos hace que se requieran grandes superficies de terrenos para la ubicación de los residuos que, por supuesto, deben quedar alejados de los núcleos poblacionales.
- Degradación del suelo.
- Contaminación de las aguas.

- Contaminación atmosférica, por la gran cantidad de residuos en estado gaseoso y partículas sólidas en suspensión que quedan en la atmósfera.
- Creación de focos de infección. La acumulación de, residuos orgánicos, en zonas no acondicionadas a tal efecto, favorece la existencia de roedores e insectos que se convierten en agentes portadores de enfermedades, con los correspondiente efectos nocivos, para la salud humana y de supervivencia, para otros seres vivos.

2.1.3. El compostaje como sistema de tratamiento y adecuación de los residuos orgánicos.

Los residuos orgánicos de calidad aceptable son una fuente muy interesante de materia orgánica y de elementos fertilizantes. Por ello, el reciclado y la valorización de los mismos en la rama agrícola y forestal, no constituye solamente una manera eficaz de evitar la degradación y contaminación del medio, sino que, además, permite reciclar dichos recursos, cerrándose los ciclos de la materia -alterados por la actividad forestal y agrícola intensiva- y reduciéndose el consumo de fertilizantes, enmiendas y sustratos.

Para que todo esto sea posible, es necesaria la creación de sistemas eficaces de recogida selectiva, acopio y transformación de estos residuos. Además, el enorme volumen de residuos forestales producidos obliga a buscar formas combinadas para la gestión de los mismos: diferentes métodos de transformación y alternativas de valorización (Martínez, 2002).

En la actualidad, el compostaje es un proceso tecnológico industrializado, sin un grado de complejidad excesivo, técnico y económicamente viable, poco contaminante, y con mayor aceptación social, en comparación con los vertederos o las plantas incineradoras.

El compostaje tiene múltiples funciones, según el objetivo a alcanzar, (Soliva, 2001). Desde la perspectiva medioambiental, el compostaje facilita la gestión de los residuos orgánicos -reduciendo su peso, volumen y peligrosidad-, permitiendo además reciclar los recursos contenidos en ellos. También puede llevarse a cabo únicamente como tratamiento previo a la incineración o el vertido, ya que al reducir el volumen de los mismos se hacen más manejables y menos contaminantes.

2.1.4. Aspectos generales del proceso de compostaje.

El compostaje es un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, y combinando las fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45°C) transforma los residuos orgánicos degradables en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato llamado compost, (Peña *et al.* 2002)

Este proceso es el resultado de una actividad biológica compleja que se realiza en condiciones particulares por lo que no resulta de un único proceso sino de la suma de una serie de procesos metabólicos complejos procedentes de la actividad conjunta de varios microorganismos, donde los cambios químicos y las especies involucradas en el mismo varían de acuerdo a la composición del material que se quiere compostar, (Ryckeboer *et al.* 2003).

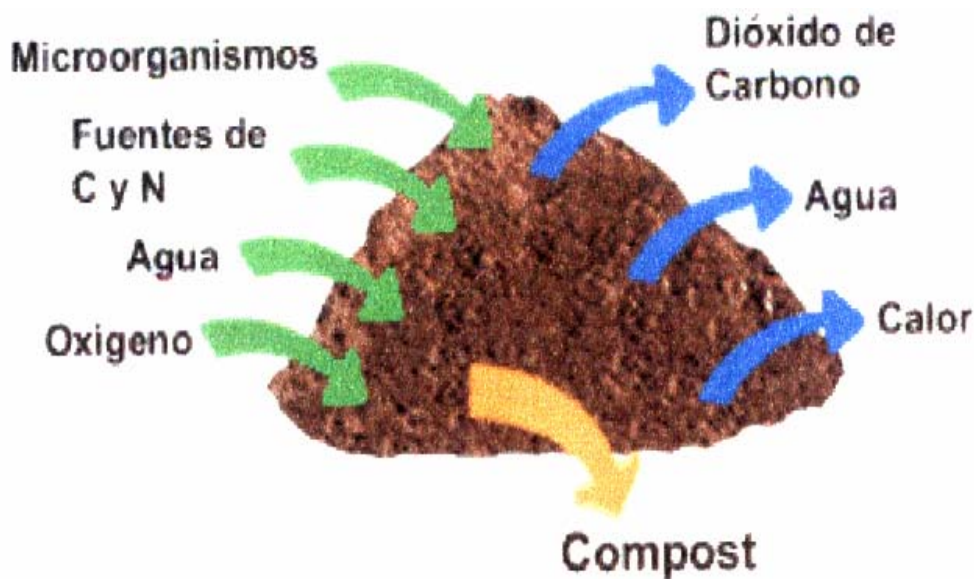


Figura 2.1. El proceso de compostaje.

El compostaje comienza una vez que esté la acumulación de materia orgánica o pilas, con el mínimo de condiciones requeridas para el desarrollo de los microorganismos, (Figura 2.1). Solo resta mantener el control de estas condiciones para lograr el producto deseado en el menor tiempo posible.

Otten, (2003), con el esquema mostrado en la Figura 2.2 expone el proceso de compostaje en su conjunto.

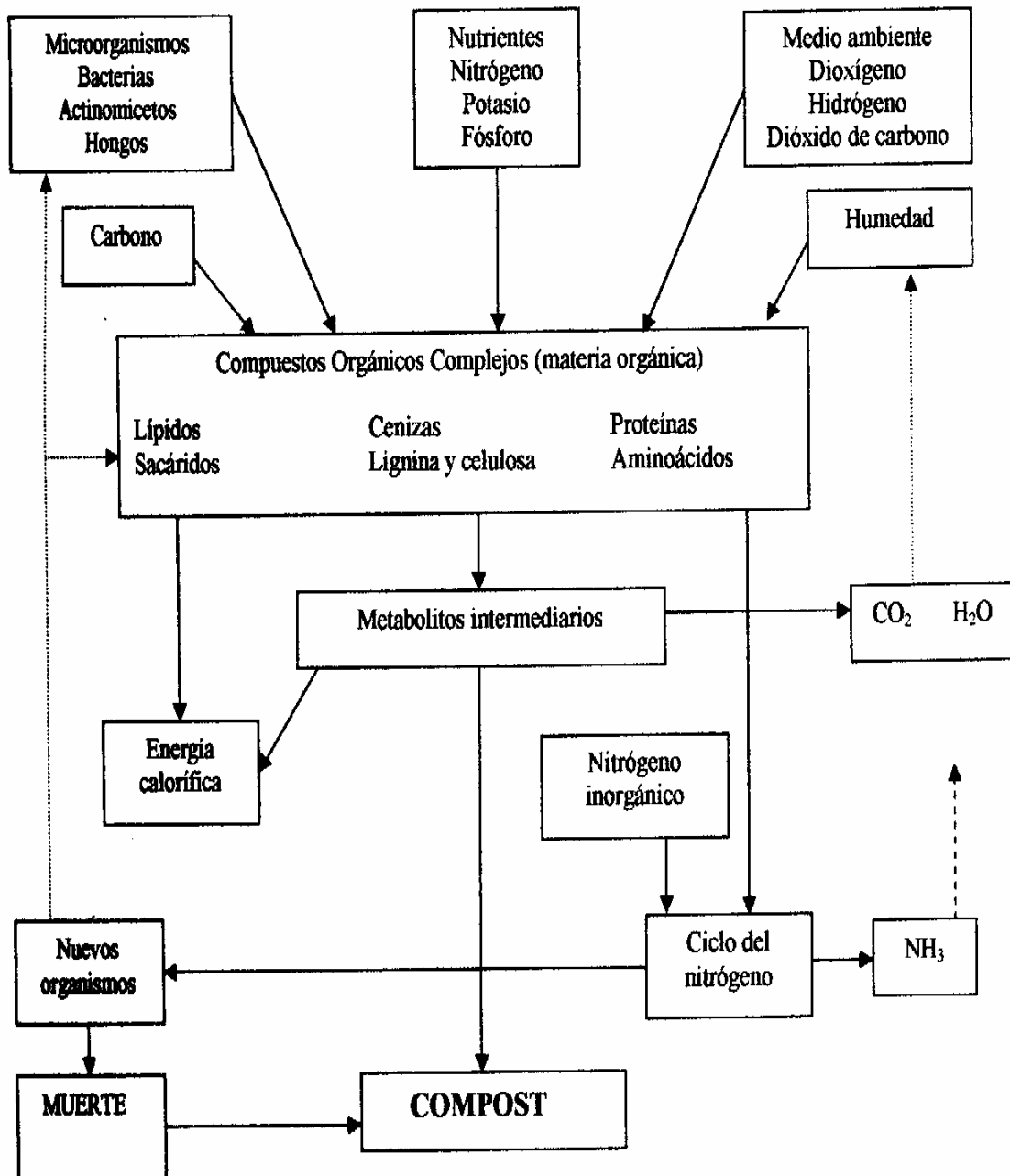


Figura 2.2. Esquema del proceso de compostaje.

Este proceso por ser de autocalentamiento destruye los patógenos presentes en la materia orgánica (microorganismos, semillas, huevos y algunas esporas), debido a las elevadas temperaturas, por el orden de los 70- 80°C, que se alcanza en la fase termófila, esto permite la utilización no contaminante del abono orgánico al resultar un producto higienizado (Peña *et al.* 2002 y Lafond, *et al.* (2002) en trabajos realizados con excretas de animales demuestran que cuando el compostaje es realizado bajo condiciones optimizadas de humedad aireación y temperatura mayor que 50°C con suficiente nitrógeno para

mantener alta actividad microbiana, en el producto final no aparecen bacterias potencialmente patógenas

2.1.5. Microbiología del Proceso de compostaje.

El proceso de composteo como proceso biológico al fin, ocurre a expensas de la actividad de diferentes especies de microorganismos, aunque también los insectos y gusanos influyen en menor medida en este proceso. Una sola especie no es capaz de degradar la materia orgánica por si sola debido a la gran diversidad de compuestos presentes, por lo que la acción conjunta de ellos es fundamental para su supervivencia. También la diferencia de condiciones presentes en la pila origina diferentes hábitats para estos microorganismos y posibilita la aparición de varios grupos heterogéneos. Es precisamente esta diversidad lo que garantiza que el proceso continúe y no cese cuando varíen las condiciones, (Rynk *et al.* (1992), Tiquia, (2005)).

Los principales grupos de microorganismos que participan en el proceso son los hongos, las bacterias y los actinomicetos. Estos al tener diferencias nutricionales y metabólicas, son capaces de descomponer los compuestos químicos simples y complejos que están en la fracción orgánica de los residuales sólidos como son lípidos, proteínas, aminoácidos, lignina y celulosa.

Ryckeboer *et al.* (2003), realizaron un estudio muy completo basado en la relación entre, microorganismos, grupos funcionales, diversidad de especies y parámetros abióticos

Algunas de las características de los principales grupos se exponen a continuación:

Bacterias

Son en general descomponedores más eficientes que el resto de los microorganismos. Las bacterias tienden a desarrollarse especialmente en las etapas tempranas del proceso de composteo, antes que los materiales fácilmente degradables se consuman. Prefieren pH neutrales. Algunas de las bacterias que están involucradas en el proceso de composteo son:

Bacillus sp.

Bordetella bronchiseptica.

Citrobacter sp.

Enterobacter.

Escherichia coli.	Flavobacterium sp.
Micrococcus sp.	Pseudomonas sp.
Salmonella sp.	Shigella sp.

Hongos.

Forman el grupo de los eumicetos o eumocófitos por presentar estructura celular eucariota. La mayoría puede crecer con escasa agua libre y se desarrollan debido a que pueden absorberla de atmósferas húmedas. Los hongos son clásicamente aerobios.

La mayoría de los hongos son saprófitos y activos productores de varias enzimas hidrolíticas extracelulares; en consecuencia son de gran valor como destructores de los residuos orgánicos y promotores de la fertilidad de los suelos, (Diorio *et al.* 2003). Aparecen generalmente después del pico de temperatura en la fase termófila, (Anastasi *et al.* 2004).

Entre los hongos que han sido aislados se encuentran:

Absidias sp.	Acophialophora sp.
Alternaria	Aspergillus sp.
Botrytes	Penicillum sp.

Actinomicetos

Son los responsables del olor a tierra en el compost final. Entre las especies de actinomicetos que más se han aislados de los productos finales del proceso de composteo tenemos:

Leropolyspora faeni	Saccharomonospora
Atreptomycetes sp	Thermoactinomyces
Thermonospora	

La comunidad de hongos en el compost tiene gran influencia en la fertilidad del suelo y en los parámetros biológicos

Según Ojeda, (2000) y Colom, (2001) existen muchos factores que influyen en la vida de los microorganismos siendo la temperatura uno de los más importantes. A partir de ella se definen los siguientes grupos:

- ❖ Psicrófilos: Son microorganismos que pueden vivir y desarrollarse a temperaturas menores que 10°C, algunas llegan a vivir en el rango mesofílico.
- ❖ Mesófilos: Estos microorganismos crecen bien a temperaturas que oscilan entre 10-45°C. Sus temperaturas óptimas de crecimiento son aproximadamente de 25-39°C y varían según las especies.
- ❖ Termófilos: Microorganismos que se desarrollan a temperaturas entre 50- 70°C. Presentan una temperatura óptima sobre los 50°C.

2.1.6. Proceso biológico del compostaje.

El proceso de compostaje tiene la particularidad que es un proceso que se da con elevadas temperaturas. La pre-fermentación es la primera fase del proceso de compostaje, que comienza bajo el impacto de bacterias mesófilas. En esta fase, la temperatura del material aumenta rápidamente y el proceso de biodegradación empieza. La temperatura puede subir hasta 75 °C. Esto es equivalente al grado 1 de madurez. La pre-fermentación se realiza durante los primeros días del compostaje. Para que el proceso se desarrolle normalmente es imprescindible que haya humedad y oxígeno suficientes, ya que los microorganismos encargados de realizar la descomposición de los materiales orgánicos necesitan de estos elementos para vivir.

Röben, (2002) plantea que durante la segunda fase, la fermentación principal, la temperatura sigue manteniéndose a un nivel relativamente alto por causa del calor producido por la actividad microbiológica. La elevada temperatura que adquiere la pila de compost (o abonera) es muy importante, ya que es una manera de eliminar muchos tipos de microorganismos que pueden perjudicar a las plantas que cultivemos y que se encontraban presentes en el material original. En esta fase, la biodegradación se realiza por bacterias termófilas (grado 2-3 de madurez).

La velocidad del proceso de compostaje alcanza a su nivel más alto durante las dos primeras fases. Paralelamente, las emisiones y la necesidad de aireación y humedecimiento también se encuentran sobre su nivel más alto. Por esta causa, el control del proceso es especialmente importante durante este tiempo.

La última fase del proceso de compostaje es la maduración e higienización. El proceso de biodegradación se desarrolla más despacio y las emisiones también se disminuyen. En general no hay necesidad de aireación o humedecimiento durante esta fase. Sin embargo, en esta fase es ventajoso continuar la mezcla/revuelta y el movimiento del material para obtener un producto homogéneo e higiénico. Al final de la última fase, el compost tiene el grado 4 o 5 de madurez. (Röben, 2002)

2.1.7. Factores que influyen en el proceso de compostaje.

Teniendo en cuenta que en un proceso de compostaje, los responsables o agentes de la transformación son los microorganismos, todos aquellos factores que puedan limitar su vida y desarrollo, limitarán también al propio proceso. Por tanto, las condiciones que pueden afectar la actividad metabólica de estos microorganismos son los parámetros a controlar durante el proceso, estos son: la relación C/N, la temperatura, la humedad, el pH y la aireación. (Salètes *et al.* 2004).

- **La temperatura.**

Cada especie de microorganismo (bacterias, hongos y actinomicetos) tiene una temperatura óptima para su desarrollo, (Colom, 2001).

El grupo que resulte favorecido por una temperatura concreta, descompondrá la materia orgánica del residuo, utilizándola como fuente de energía y de obtención de materiales para reproducirse, y se desprenderá calor. Este calor puede hacer variar la temperatura de la pila. La variación dependerá de las dimensiones de la pila (el calor producido será proporcional al Volumen o masa de la pila, pero la pérdida lo será a la superficie) y también, aunque en menor grado, de las condiciones ambientales (invernales-estivales, húmedas o secas).

Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo de 35° a 55°C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas, aunque a veces estas temperaturas sean superadas espontáneamente por la misma dinámica del proceso. A temperaturas excesivamente altas, muchos microorganismos interesantes para el compostaje mueren y otros no actúan porque están esporulados. Según J. López Real, la transformación óptima sería

con 15 días a 45°C y después dejar subir la temperatura hasta 60-70°C para higienizar, ya que al 50°C ya desaparecen los hongos.

En términos biológicos, la máxima higienización se alcanza a temperaturas mayores que 55°C, entre 45 y 55°C se obtiene la máxima velocidad de degradación y entre 35 y 40°C se tiene la mayor diversidad de microorganismos. (Stentiford, 1999, citado por Lu *et al.* 2004)

- **La humedad.**

Teóricamente una descomposición aeróbica puede realizarse entre unos valores de humedad del 30% al 70%, siempre que se pueda asegurar una buena aireación, que dependerá tanto del método de aireación como de la textura del residuo o residuos utilizados (fibrosos, granulosos, pulverulentos, etc.), (Colom, 2001).

En la práctica del compostaje siempre se tiene que evitar una humedad elevada porque desplazaría el aire de los espacios entre partículas del residuo, y el proceso pasaría a ser anaeróbico. Por otra parte, si la humedad es excesivamente baja, disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso se retrasa. Se consideran niveles óptimos, humedades del 40% al 60%, pero pueden cambiar si los materiales son más o menos fibrosos o más o menos compactos, (Rynk, *et al.* (1992), Salètes *et al.* (2004)).

Si se cuenta con materiales muy húmedos estos se deben mezclar con otros más secos para lograr la humedad requerida y viceversa. Durante el proceso la humedad tiende a disminuir debido a la evaporación del agua por lo que esta se tiene que reemplazar, aunque lo contrario puede suceder, que debido a la lluvia, se tenga demasiada humedad. Este exceso se elimina con aireación, ya sea forzada o con el volteo de la pila, junto a la exposición al sol, sobre todo en países cálidos como el nuestro.

- **El pH.**

La variación del pH a lo largo del compostaje es importante. Al principio y como consecuencia del metabolismo, fundamentalmente bacteriano, que transforma los complejos carbonados de fácil descomposición en ácidos orgánicos, el pH desciende; seguidamente el pH aumenta como consecuencia de la formación de amoníaco, alcanzando el valor más alto (8,5), coincidiendo con el máximo

de actividad de la fase termófila. Finalmente tiende a disminuir en la fase final a de maduración a valores entre 7 y 8 debidos a las propiedades tampón de la materia orgánica, (Péna *et al.* (2002), Colom, (2001)).

- **La aireación.**

Asegurar la presencia de oxígeno necesario para el desarrollo del proceso termófilo aeróbico es imprescindible para obtener un compostaje bueno y rápido, evitando al máximo el problema de los malos olores. La aireación tiene un doble objetivo, aportar por una parte el oxígeno necesario a los microorganismos y evacuar el dióxido de carbono producido; así como el exceso de calor y la humedad en la pila, (Colom, 2001).

La aireación varía a lo largo del proceso, siendo baja en la fase mesófila, alcanzando el máximo en la fase termófila y disminuyendo de nuevo al final del proceso. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada, (Peña *et al.* 2002).

El volteo de una pila de compostaje es necesario, no tan solo para airear, sino también para homogeneizar la mezcla e intentar que todas las zonas consigan una temperatura uniforme. Cada volteo, además, consigue disminuir de 5° a 10°C la temperatura, lo cual puede ser muy importante si se exceden los 60°C. De todas formas, la temperatura de la pila se recupera en seguida si el compostaje todavía no está finalizado.

- **Relación C/N equilibrada.**

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica, por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos, (Colom 2001).

Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica alargándose el proceso hasta que el exceso de carbono sea oxidado y la relación disminuya hasta valores adecuados para el metabolismo. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco.

2.1.8. Condiciones óptimas del proceso.

Teniendo en cuenta lo anteriormente se puede afirmar que un control eficiente de estos parámetros permitirá llegar a tener un proceso que trabaje de forma óptima disminuyendo el tiempo de elaboración del compost y como consecuencia aumentando las ganancias económicas.

Entre las variables más exigentes están la temperatura, la humedad y la relación C/N. No obstante, el control de la mayor cantidad posible de parámetros en el proceso garantiza los mayores resultados.

Las condiciones óptimas del proceso se muestran en la Tabla 2.1, (Peña, 2002; Rynk, *et al.* 1992).

Tabla 2.1. Condiciones óptimas del proceso de compostaje.

Condiciones óptimas		
Parámetro	Rango Razonable	Rango Referido
C/N	20-40	25-30
humedad	40-65	50-60
temperatura	40-65	55-70
pH	5,5-9	6,5-8,5
Tamaño part.	13 mm	13 mm

2.1.9. Sistemas de compostaje

El compostaje puede llevarse a cabo utilizando diferentes sistemas. El suministro de oxígeno -mediante aireación- y el control de la temperatura y de la humedad pueden realizarse en *sistemas abiertos* al aire, donde los residuos están apilados, o bien, en *sistemas cerrados*, utilizando reactores o fermentadores según reportan Abad y Puchades, (2002)

Tabla 2.2. Ventajas e inconvenientes de los principales sistemas de compostaje

SISTEMAS DE COMPOSTAJE			
	Pilas volteadas o estáticas	Digestores aeróbicos	Túneles con recirculación de aire
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instalación sencilla y barata. ▪ Control relativamente simple de temperatura y humedad. ▪ Mantenimiento reducido. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proceso continuo o semicontinuo. ▪ Mejor control de la fermentación. ▪ Control avanzado de los olores. ▪ Uso intensivo del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción del tiempo de compostaje. ▪ Control total del proceso. ▪ Control de olores avanzado. ▪ Uso intensivo del suelo.
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Según las condiciones climáticas pueden requerir cubierta en las zonas de fermentación y maduración. ▪ Posibilidad de malos olores. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costes de implantación y mantenimiento más elevados. ▪ Técnica relativamente compleja, que requiere aprendizaje de manejo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costes de implantación y mantenimiento más elevados. ▪ Tecnología reciente, que exige el desarrollo de técnicos propios o la dependencia de patentes establecidas.

Fuente: Soliva, 2001

Por razones económicas, los sistemas abiertos (pilas y trincheras) son los más frecuentes. En ellos, el material recepcionado -una vez homogeneizado- se extiende en eras, montones o pilas de dimensiones variables. La aireación de los mismos puede realizarse mediante volteos periódicos del material (*sistema dinámico*), o bien mediante aireación forzada (*sistema estático*) por medio de una red de tuberías perforadas distribuidas por todo el terreno, a través de las cuales se inyecta aire (sistema Rutgers) o se aspiran los gases resultantes (sistema Beltsville). También existen *sistemas mixtos* de aireación. Por otra parte, los sistemas cerrados más habituales son los digestores aeróbicos y los túneles con recirculación de aire. En la Tabla 2.2 se recogen las principales ventajas e inconvenientes de cada sistema de compostaje.

Por razones económicas, los sistemas abiertos (pilas y trincheras) son los más frecuentes. En ellos, el material recepcionado -una vez homogeneizado- se extiende en eras, montones o pilas de dimensiones variables. La aireación de los mismos puede realizarse mediante volteos periódicos del material (*sistema*

dinámico), o bien mediante aireación forzada (*sistema estático*) por medio de una red de tuberías perforadas distribuidas por todo el terreno, a través de las cuales se inyecta aire (sistema Rutgers) o se aspiran los gases resultantes (sistema Beltsville). También existen *sistemas mixtos* de aireación. Por otra parte, los sistemas cerrados más habituales son los digestores aeróbicos y los túneles con recirculación de aire. En la Tabla 2.2 se recogen las principales ventajas e inconvenientes de cada sistema de compostaje.

2.1.10. Calidad del compost

Para que se alcance el beneficio ambiental del compostaje y éste llegue a ser una alternativa económicamente viable, el compost producido deberá tener una calidad adecuada a su uso y unas características constantes en el tiempo, (Raviv, 1998).

La calidad es difícil de definir. Debido a la variedad de materiales y mezclas compostables, son muchos y diferentes los tipos de compost que se pueden obtener, lo cual dificulta el establecimiento de un sistema único para valorar la calidad, (Soliva y Molina, 1996).

En general, los requerimientos de calidad del compost deberían ir dirigidos a conseguir: aspecto y olor aceptables; higienización correcta; nivel muy bajo de impurezas y contaminantes; nivel conocido de componentes agrónomicamente útiles; y, características homogéneas y uniformes. Además, debería poder ser almacenado sin experimentar alteraciones posteriores.

El destino final del compost influye también en la calidad, ya que cada aplicación o aprovechamiento tiene unas exigencias particulares. Determinar el mayor número posible de parámetros no lleva a definir mejor la calidad, sino que se trata de seleccionar aquellos parámetros que mejor definan las características del compost que se desean conocer.

Los parámetros que pueden ser utilizados para valorar la calidad del compost, así como la información proporcionada por cada uno de ellos, se resumen en la Tabla 2.3.

En todo caso, deberán cumplirse siempre unos niveles mínimos de calidad, cuyo objetivo principal es impedir la transferencia de contaminantes (abióticos y bióticos).

Tabla 2.3. Parámetros que pueden ser utilizados para valorar la calidad del compost.

Categoría	Parámetros	Informa sobre
Físicos	▪ Densidad aparente	▪ Transporte, manejo y aplicación
	▪ Color	▪ Aceptación
	▪ Olor	▪ Aceptación, higiene e impacto ambiental
	▪ Humedad	▪ Transporte y manejo
	▪ Granulometría	▪ Manejo, aceptación y efectos sobre el suelo/sustrato
	▪ Capacidad de retención de agua	▪ Efectos sobre el suelo/sustrato, ahorro de agua
	▪ Contaminantes inertes	▪ Aceptación, impacto ambiental y seguridad
Químicos	▪ Contenido y estabilidad de la materia orgánica	▪ Efectos sobre el suelo/sustrato, sobre los vegetales y aceptación
	▪ Nutrientes	▪ Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre los vegetales
	▪ Contaminantes	▪ Salud, efectos sobre el suelo/sustrato y sobre los vegetales e impacto ambiental
	▪ Sales solubles	▪ Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre los vegetales e impacto ambiental
Biológicos	▪ Patógenos	▪ Salud e impacto ambiental
	▪ Semillas de malas hierbas	▪ Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre la producción

Fuente: Soliva, 2001

En la Tabla 2.4 se recogen los requisitos mínimos exigibles para los composts de residuos orgánicos en el Estado español, así como las propuestas europeas.

La calidad del compost generalmente se mide desde la perspectiva medioambiental: contenido en contaminantes, principalmente. Sin embargo, la calidad agronómica de un compost va más allá. Ésta incluye parámetros físicos, químicos, físico-químicos y biológicos decisivos para su aplicación, como la granulometría, el pH, la conductividad eléctrica, el contenido en nutrientes, la estabilidad de la materia orgánica o el índice de germinación de semillas, entre otros.

Tabla 2.4. Requerimientos mínimos de calidad de los composts en el Estado español y en la UE

PARÁMETRO	Orden de 28 de mayo de 1998, <i>Fertilizantes y afines</i> , y Orden de 2 noviembre de 1999, <i>Modificación</i>	Working Document. Biological Treatment Of Biowaste. 2 nd Draft.*	
		CLASE 1	CLASE 2
Humedad	<40 %		
Granulometría	90% <25mm		
Materiales inertes	<10mm	Impurezas >2mm	<0,5%
Materia orgánica	>25%	Piedras o grava >5mm	<5%
Nitrógeno orgánico	>1%		
Metales pesados	mg/kg de materia seca		
Cd	10	0,7	1,5
Pb	300	100	150
Cu	450	100	150
Zn	1.100	200	400
Ni	120	50	75
Cr	400	100	150
Hg	7	0,5	1
Patógenos (materias primas de origen animal)	Salmonella: Ausente /25 g Enterobacterias totales <1.000 u.f.c./g Estreptococos fecales <1.000 NMP/g	Salmonella: Ausente /50g Clostridium perfringens: Ausente /1g	
Organismos nocivos (materias primas de origen vegetal)	Aquellos contenidos en el R.D. 2071/1993, de 26 de noviembre (lista modificada por BOE núm. 113, de 12 de mayo de 2003)	< 3 semillas de malas hierbas / L producto	
Otros	Contenido en lodos de depuración <35% (p/p) de la mezcla inicial	Sin restricciones de uso	Aplicación al suelo <30 t m.s./ha x 3 años

* CE-Comisión Europea, 2001

En Canadá, los estándares de calidad del compost (National Standards of Canadá [CAN/BNQ 0413-200]) sí tienen en cuenta la *madurez* como parámetro de calidad. En el Reino Unido, la normativa del British Standards Institution para materiales compostados incluye el *índice de germinación* y el *contenido en semillas de malas hierbas* como requisitos.

El control de la calidad no debe limitarse solamente al producto final, sino que debe hacerse sobre las materias primas y a lo largo del proceso de compostaje. Si el compost obtenido al final del proceso de compostaje cumple unos estándares de calidad reconocidos, aumentará la confianza del consumidor,

asegurándose así el desarrollo a largo plazo de la industria del compostaje y los beneficios por ella generados.

2.1.11. Importancia y uso del compost.

Desde el punto de vista ecológico e industrial las ventajas del compostaje se manifiestan en la obtención de materiales apropiados para su uso en la agricultura y en la eliminación y reciclado de muchos tipos de residuos, solventando los problemas que ocasiona su vertido, acción muy perjudicial para el medio ambiente y para el hombre. (Röben, 2002)

En este sentido el compost resulta una opción muy favorable como fertilizante y remediador de suelos. A continuación se muestran algunas de sus ventajas:

- 1) **Acondicionador de suelos:** su uso periódico y de forma adecuada es fundamental para asegurar la fertilidad y evitar la desertificación a largo plazo.
- 2) **Mejora las propiedades físicas del suelo:** la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola mejora considerablemente, aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa. Ayuda a prevenir la erosión de los suelos.
- 3) **Mejora las propiedades químicas:**
Permite un suministro gradual de nutrientes que coincide con la descomposición y la mineralización. Influye también, de manera indirecta, en la disponibilidad de nutrientes de las reservas inorgánicas, ya que varía el equilibrio ácido-base, disminuye el potencial red-ox y favorece la formación de quelatos. Aumenta la Capacidad de Intercambio Catiónico.
- 4) **Mejora las propiedades biológicas del suelo:**
Aumenta la micropoblación y, por lo tanto, se incrementa la fertilidad del suelo. Algunas sustancias fruto de la descomposición de la materia orgánica incorporada (como las auxinas, vitaminas, antibióticos y otras poco conocidas) tienen efectos fisiológicos y pueden ayudar en el crecimiento.
- 5) Además brinda beneficios sociales y económicos (Yap, 1999):

- Es la más barata de las alternativas disponibles.
- Origina nuevas fuentes de empleo.
- Permite el ahorro de dinero al invertir menos en los costosos fertilizantes químicos y sustratos, que cada día se cotizan a mayor precio.

Por tanto el compostaje representa una industria, una nueva y más sofisticada forma de lidiar tanto con los desperdicios industriales como urbanos mientras se produce un producto económico y útil para el hombre y para la naturaleza.

2.1.12. Aplicación del compostaje a la obtención de productos alternativos a los sustratos tradicionales.

El compostaje es una técnica de estabilización de residuos orgánicos (RO) que tiene interés en el aprovechamiento de residuos y subproductos de distintas actividades como sustratos, (Moldes *et al.* (2006), Mupondi, *et al.* (2006), Wethje *et al.* (2004), Castillo *et al.* (2004), Sánchez – Monedero *et al.* (2004)).

Hoy por hoy presenta un interés especial por diferentes razones:

- ❖ Fuerte demanda de sustratos y variados.
- ❖ Problemática derivada de la importación de materiales como la turba.
- ❖ Necesidad de proteger ciertos recursos.
- ❖ Problemas de rentabilidad y competitividad.
- ❖ Elevada producción de residuos y subproductos.
- ❖ Costos elevados de vertederos y de los sistemas de tratamientos.

Castillo *et al.* (2004) y Ribero *et al.* (2000), han obtenido excelente resultados como sustrato en el crecimiento y desarrollo de diferentes en diferentes especies, sin necesidad de utilizar fertilizante inorgánico. Este último autor plantea un crecimiento superior entre un 10 -20% cuando se utiliza compost como constituyente medio. El principal factor limitante, para el uso de los compost como sustratos es su alto valor de conductividad eléctrica. Sánchez-Monedero *et al.* (2004), utiliza dos compost con altos valores de conductividad eléctrica y obtiene buenos resultados cuando se utiliza menos del 67% del

compost como constituyente medio, resultados similares fueron obtenidos por Moldes *et al.* (2006), con la corteza de pino compostada.

Estudios realizados en la Universidad de Pinar del Río han demostrado que el uso de la corteza de diferentes especies forestales, es una buena opción en la elaboración de sustratos para viveros forestales Castillo, (2006) y Cobas, (2001), sus mejores resultados coinciden con aquellos sustratos en los se incluyen corteza, aunque en todos los casos utilizan concentraciones de la misma menores que un 30 %.

El compost procedente de residuos Forestales presenta algunas características ventajosas para el cultivo en sustrato. Por una parte, posee un gran poder fertilizante de base, ya que contiene altos niveles de los nutrientes vegetales asociados a la materia orgánica del compost (reservorio natural de nutrientes) y, por tanto, de liberación progresiva. También puede presentar propiedades supresivas frente a agentes fitopatógenos, especialmente hongos, debido a la presencia de microorganismos diversos que disminuyen la incidencia de enfermedades. Todo esto puede repercutir favorablemente en una mayor producción de biomasa y en un aumento de la supervivencia de las plantas, tras el trasplante y en el mercado, así como en la reducción de insumos, tales como fertilizantes y productos fitosanitarios. Además -y tras su uso- puede volver a utilizarse como material orgánico para abono, relleno de taludes u otros usos típicos del compost, no generando impacto ambiental alguno.

En relación con estos condicionantes básicos, su utilización como sustrato de cultivo implica generalmente su mezcla con otros materiales que disminuyan los niveles de nutrientes y de sales solubles, y que mejoren su estabilidad estructural, (Sánchez- Monedero *et al.* 2004).

Internacionalmente se ha demostrado los diversos usos de la corteza de Eucaliptus a través de profundos estudios, declarando su principal importancia en la fabricación de compost. (Yadav *et al.* (2002), Paul y Polglase, (2004)).

El compost producido a partir de corteza de Eucalyptus posee excelentes propiedades físicas y se ha demostrado favorables resultados en contra el desarrollo de hongo en las etapas iniciales de crecimiento de la plantas. Autores como Cunha-Queda *et al.* (2006), afirman que el mismo es un material

apropiado para ser usado en la formulación de sustratos para la producción de plantas en contenedores.

El aprovechamiento del compost de residuos Forestales como sustrato de cultivo supondría un claro ejemplo de sistema integral, rentable y ecológico, ya que la generación del residuo, la producción de compost y su consumo coexistirían en una misma zona.

2.2. Materiales y Métodos.

2.2.1. Montaje de las pilas de compostaje.

En el proceso de compostaje se empleó mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell completamente homogeneizada, a las que se le realizó un proceso de molienda un molino de martillo de 14HP durante 6 minutos, ubicado en las instalaciones de la Universidad de Pinar del Río.

El montaje de las pilas estáticas se realizó con las siguientes dimensiones, 1x1x1.5m.

Se montaron dos experimentos, uno con mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell sin extraer y otro con mezcla de las mismas especies forestales antes mencionadas pero previamente extraídas con NaOH al 1%. En ambos experimentos se añadió un 30% de estiércol de gallina. Se realizaron tres réplicas para cada experimento.

El compostaje se realizó según el procedimiento descrito por García Gómez, (2003), citado García Gómez, (2005). Las pilas fueron volteadas cuando comienza el descenso de la temperatura, para homogenizar las pilas y estimular el proceso. La fase biooxidativa del compostaje (fase activa) fue considerada que había concluido, cuando la temperatura de las pilas se igualaban a la del medio ambiente.

La humedad fue controlada poniendo especial atención en la fase activa del compost, entre un 50-70%.

Se procedió a la determinación de la variación de los diferentes parámetros (pH, humedad, temperatura, contenido de materia orgánica, de ceniza, relación C/N, nitrógeno y carbono) que caracterizan al proceso de compostaje en las diferentes pilas en función del tiempo.

La toma de muestra para el análisis químico durante el compostaje, se realizó en seis sitios diferentes de las pilas

2.2.2. Determinación de los diferentes parámetros físicos-químicos que caracterizan al proceso de compostaje.

Determinación de la temperatura.

La medición de la temperatura se realizó empleando un termómetro de máxima diariamente en diferentes en lugares de la pila, luego se determinó la temperatura promedio.

Determinación del pH.

El pH se determinó en días alterno. Para su determinación se pesó 1g de la muestra y se disolvió en 10 ml de agua destilada. Durante 30 minutos se realizó con agitación frecuente, se filtró y se midió con un pHmetro Hanna pH 211 según, Smith (2001), y Mupondi *et al.* (2006).

Determinación del contenido de ceniza, materia orgánica y humedad.

Semanalmente se tomó una muestra para la determinación del contenido de cenizas, de materia orgánica y humedad.

Se determinaron de la misma forma que en la descrita en Materiales y Métodos del Capítulo I.

Determinación de la conductividad.

Para la determinación de la conductividad se tomo una muestra en días alternos y se pesó 1g de la muestra, se diluyó en 10 ml de agua destilada, se filtró y luego se procedió a la lectura diaria con conductímetro, Hanna EC 215, según Mupondi, (2006).

Determinación del contenido de Nitrógeno.

Se realizó una toma de muestra cada quince días para la determinación del contenido de nitrógeno.

Se pesó de 0.20 a 0.25 g de la muestra seca, se introdujo en un recipiente y se añadió de 5-6 ml de la mezcla de selenio- ácido sulfúrico, se puso en la fuente de calor a temperatura de 360- 410°C, hasta que la solución quedó transparente o con un color ligeramente amarillo. El extracto se colocó en matraces aforados de 100 ml, se enrasó con agua destilada y se dejó en

reposito hasta el día siguiente. Se tomó 1 ml de extracto y se llevó a matraz aforado de 50 ml, adicionándole las disoluciones de tartrato de sodio y potasio y de hidróxido de sodio. Se enrasó y se leyó en el fotocolorímetro con filtro azul o en el espectrofotocolorímetro a 410- 420 nm. El % de N se determinó según:

$$\% N = \frac{100}{M} * \frac{50}{a} * fch * 10^{-4} \quad (2.1)$$

Donde:

M: Peso de muestra seca al aire llevada a digestión en g.

100: Volumen final a que se lleva la muestra digerida.

50: Volumen final de la colorimetría.

10^{-4} : Factor para llevar a %.

A: mL tomados para la colorimetría.

Fch: Factor de corrección de la humedad.

Determinación del contenido de Carbono. (Walkley- Black)

Se realizó una toma de muestra cada quince días. Se oxidó 1 g de la muestra con 5 ml de dicromato de potasio y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado y se valoró con sulfato ferroso amónico usando difenilamina como indicador.

Determinación del contenido de lignina y celulosa.

Se tomó una muestra cada 21 días para la determinación del contenido de celulosa y lignina. Se siguió el procedimiento dado en Materiales y Método del Capítulo I.

2.2.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado a los parámetros fisicoquímicos al inicio y al final del compost lo que presupone la determinación de los parámetros estadísticos fundamentales como media, desviación estándar, intervalo de confianza y análisis de varianzas (ANOVA).

2.3. Resultados y discusión.

2.3.1. Compostaje de las mezclas de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith.

El compostaje como proceso ecológico dinámico y complejo desde el punto de vista de la sucesión de los microorganismos que actúan, presenta una temperatura, pH, asimilabilidad de los nutrientes y actividad biológica en constante cambio, pero deben conocerse muy bien las posibles variaciones de cada parámetro para interpretarlas correctamente (Eiland *et al.* (2001), Peña *et al.* (2002), Salètes *et al.* (2004))

2.3.2. Características químicas del material de partida.

En la Tabla 2.5 se muestran las características fisicoquímicas del material de partida, mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer con un 30% de estiércol de gallina.

Es necesario mezclar la corteza de estas especies forestales, ya sea extraída o no, buscando una relación C/N cercano al óptimo (20-40). La corteza del Eucalipto extraída con los diferentes medios de extracción y sin extraer presenta una relación C/N cercana a 100, dado fundamentalmente por el alto contenido de materia orgánica y el bajo contenido de nitrógeno. Para la mayoría de los autores este valor es considerado distante del rango óptimo preferido para un buen desarrollo del compostaje. Es raro que un solo material residual tenga todas las características requeridas para un compostaje eficaz. Por tanto, es necesario mezclarlo con otros materiales diferentes, en proporciones adecuadas, para obtener una mezcla con las características necesarias para llevar a cabo el proceso de compostaje.

Autores como Mupondi *et al.* (2006), evaluaron el compostaje de la corteza de pino, en el mismo no se obtuvo la fase termófila, dado por una relación C/N muy alta, sin embargo cuando mezcló la corteza de pino con otros residuos con altos contenidos de nitrógenos logró alcanzar temperaturas mayores que 60°C, manteniéndose la temperatura por encima de 45°C durante 60 días.

Los valores obtenidos se encuentran en el rango óptimo para mezclas de materiales de partida, dados por Rynk *et al.* (1992), citado por Peña *et al.* (2002), Calimam *et al.* (2001).

Las diferencias existentes en cada uno de los parámetros mostrados están relacionado con la extracción realizada con NaOH al 1% a las cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith. Estas extracciones como fue discutido en el capítulo anterior, disminuyen el contenido de lignina, de celulosa, la relación C/N y materia orgánica.

Los valores de materia orgánica son altos correspondiente a materiales orgánicos sin ningún tipo de degradación.

Tabla 2.5. Características fisicoquímicas del material de partida

Tratamientos	Corteza sin extraer.	Corteza extraída. NaOH 1%.
pH	8.37±0.3	8.40±0.15
Humedad (%)	75.20±0.8	73.28±0.22
Sustancias minerales (%)	17.00±0.3	19.33±12
Materia. Orgánica. (%)	83.00±0.4	80.67±0.08
C/N (%)	36.05±0.13	22.33±0.12
Cond. Elect. (µS/cm)	822±2.85	1575±5.10
Celulosa (%)	38.25±0.16	33.40±0.3
Lignina (%)	18.64±0.06	17.67±0.07

El pH inicial de ambas mezclas aunque no es el óptimo, esta dentro del rango referido por Rink *et al.* (1992) citado por Peña *et al.* (2002). Esta alcalinidad esta dado por alto contenido de hidróxido de calcio que presentaba el estiércol de gallina utilizado.

La conductividad eléctrica es mayor en la mezcla realizada con la corteza extraída con NaOH al 1%, lo que indica que tiene mayor cantidad de sales disueltas.

Los valores de celulosa y lignina para las cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraídas con NaOH al 1%, son menores que los de la corteza de estas mismas especies forestales sin extraer.

Este hecho debe favorecer el compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraídas con NaOH al 1%, ya que tanto la celulosa como la lignina son polisacárido con una estructura química compleja las cuales ofrecen cierta resistencia a su degradación por los microorganismos aeróbicos, (Eiland *et al.* (2001), Lu, *et al.* (2004), García-Gómez *et al.* (2005), Pires *et al.* (2006)).

2.3.3. Determinación de los parámetros fisicoquímicos que caracterizan al proceso de compostaje en función del tiempo.

2.3.3.1. Humedad en el proceso de compostaje.

La humedad fue mantenida constante en el proceso, adicionando agua en días alternos con el fin de establecer una variación sólo en el rango del 70-80 %, sobre todo en la fase biooxidativa, teniendo en cuenta que la humedad contenida en la pila favorece a la migración y colonización microbiana apropiada para cada fase del proceso, así como la difusión de los residuos metabólicos.

Los altos valores mantenidos se deben a las características físicas del material de partida por el alto contenido de corteza en ambos sustratos.

Este intervalo es cercano al óptimo recomendado según Rynk *et al.* (1992), citado por Peña, (2002), que recomienda mantener una humedad de 50-70%.

2.3.3.2. Variación de temperatura con el tiempo de compostaje.

La temperatura es uno de los parámetros más importante en el proceso de compostaje, ya que se correlaciona directamente con la actividad bioquímica del desarrollo de los microorganismos. Esto es el calor de reacción neto

involucrado en los procesos de anabolismo y catabólico celular, el cual trae como consecuencia aumento de la temperatura del material, (Peña *et al.* 2002).

En la Gráfico 2.1 se observa la variación de la temperatura con el tiempo de compostaje, para el compostaje de mezclas de corteza de de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer, donde se muestra una sucesión típica de las diferentes fases en el compostaje. En el compostaje de la corteza de eucaliptos extraído con NaOH al 1% se aprecia que la fase termófila se alcanza en solo tres días con una temperatura máxima de 63°C, en donde la velocidad del proceso de compostaje alcanza su nivel más alto, esta fase presenta un tiempo de duración aproximadamente de quince días, en cambio, en el compostaje de la corteza de eucaliptos sin extraer, la fase termófila se alcanza un poco mas tarde, a los diez días de compostaje, con un tiempo de duración menor, de 11 días. La duración de esta etapa es de vital importancia en el proceso de higienización del la materia orgánica, es donde se garantiza la destrucción del los patógenos presentes en la materia orgánica, a tales niveles de temperatura se destruye la mayoría de la flora microbiana, solo queda las bacterias esporuladas y los actinomicetos, luego en ambos casos la producción de calor decrece, materiales mas resistentes son degradados, por bacterias mesófilas. La fase de maduración requiere de varias semanas, asociada a menos cambios de temperatura.

El alcance de temperaturas mas altas a una menor edad del compostaje para el compostaje de corteza de eucalyptus extraído con NaOH al 1%, muestra un mayor grado de higienización, así como una mayor velocidad de degradación de la materia orgánica, lo cual debe estar relacionado con la posible modificación en la estructura de lignina y la celulosa, provocada por la extracción con NaOH al 1%.

Los pequeños picos están en correspondencia con los volteos de las pilas, lo cual provoca pequeños aumentos de temperatura.

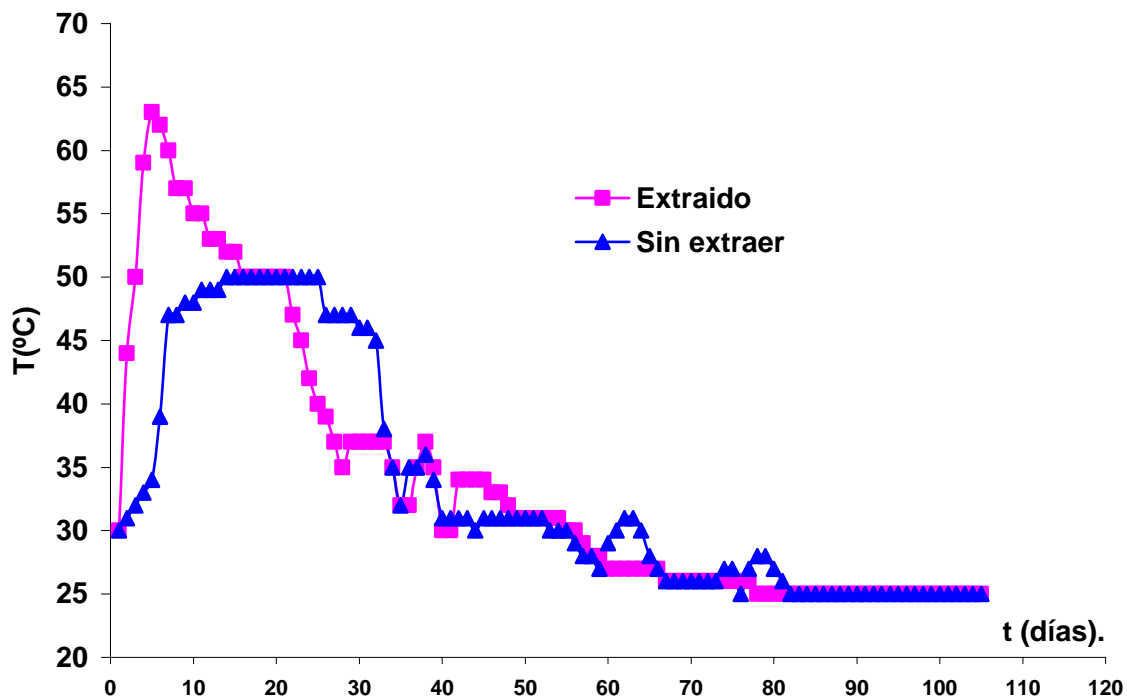


Gráfico 2.1. Variación de la temperatura de la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer con el tiempo de compostaje.

Estos resultados son semejantes a los encontrados por Wen-Jing Lu, *et al.* (2004), el cual plantea que a temperaturas mayores que 55°C ocurre la máxima higienización, entre 45-55°C la máxima velocidad de biodegradación y entre 35-40°C la máxima diversidad microbiana.

2.3.3.3. Variación del pH con la edad del compostaje.

El Gráfico 2.2 muestra la variación del pH con el tiempo de compostaje de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer.

Al inicio aunque las condiciones sean aeróbicas este tiende a disminuir debido a la formación de ácidos grasos de cadena corta por la descomposición de hidratos de carbono, este descenso no se observa en la gráfico, ya que se manifiesta en un espacio de tiempo muy corto, estos ácidos son rápidamente transformados en CO₂ y H₂O y se inicia la elevación del pH debido al amoníaco desprendido en la descomposición de las proteínas, alcanzando valores de alrededor de 10 el cual coincide con el máximo de la actividad de la fase termófila. Finalmente el pH disminuye aproximadamente a 8.5, la disminución

del pH puede ser atribuido a la nitrificación, proceso el cual, siempre es acompañado de liberación de iones hidrógeno.

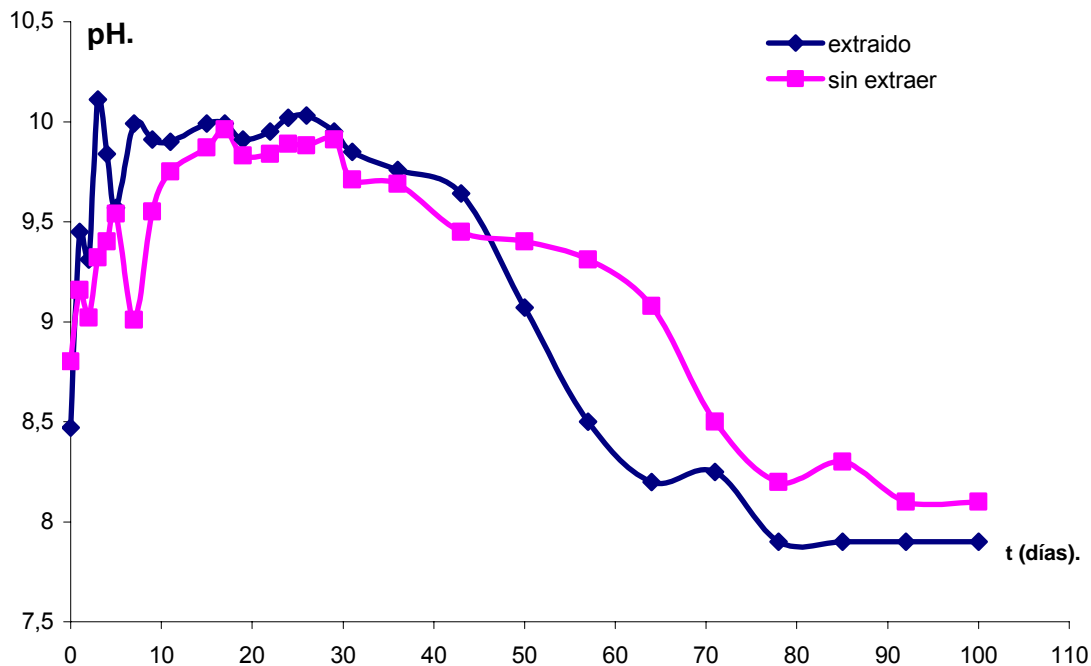


Gráfico 2.2. Variación del pH de la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer en función del tiempo de compostaje.

El pH del compostaje de la corteza de eucalipto extraída, es ligeramente superior al pH de la corteza de eucalipto sin extraer a lo largo del proceso.

En nuestro caso los altos valores de pH están muy relacionados con los altos contenidos de hidróxido de calcio contenidos en el estiércol de gallina utilizado en las mezclas al inicio del compost.

Los valores de pH a lo largo del proceso para ambos tratamientos fueron alto, desde el inicio, resultados similares, ligeramente superiores, fueron obtenidos por Paredes *et al.*, (2000), Filippi *et al.* (2002), citados por Cayuela *et al.* (2004) en el compostaje de residuos olivos.

2.3.3.4. Cambios de la conductividad eléctrica.

En el Gráfico 2.3 se muestra las variaciones de conductividad a lo largo del compostaje de la mezcla de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer. En la misma se observa para ambos tratamiento un aumento en las primeras etapas del compostaje, lo que se corresponde con el proceso de mineralización que alcanza su máxima velocidad en las primeras etapas del proceso, la conductividad debe aumentar durante el compostaje con la propia degradación de la materia orgánica, una disminución del valor de la conductividad puede estar asociada con pérdidas de sales solubles por lixiviación. Luego de la fase termófila, para ambos tratamientos se observa en el Gráfico 2.3 una tendencia a una ligera disminución hasta llegar a valores casi constante de conductividad al final del proceso.

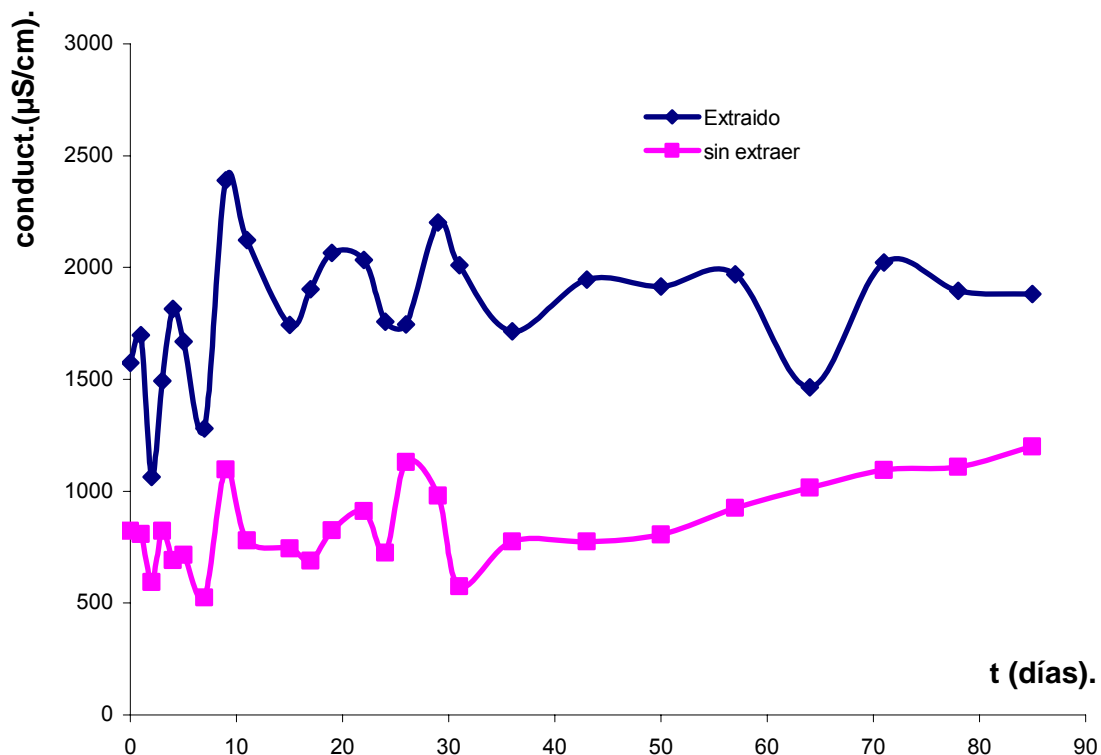


Gráfico 2.3. Variación de la conductividad con el tiempo de compostaje de la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer.

El parámetro conductividad es un parámetro que está estrechamente vinculado con el número de iones en disolución y deberá cambiar con la concentración del soluto, da una medida de la salinidad del compost, el que al final del proceso no debe ser muy superior a 2 mS/cm. para no provocar toxicidad a las plantas (Rynk *et al* 1992, Noguera *et al.* 2003).

Siempre a lo largo de este proceso, como se puede apreciar el Gráfico 2.3 la conductividad del compostaje de la corteza de eucalipto extraída es superior, lo que indica mayor contenido de sales disueltas.

Las variaciones de la conductividad a lo largo del compostaje esta asociada a los riegos que ocasionan pérdidas por lixiviación, (Cayuela *et al.* 2004)

Los resultados obtenidos son similares a los alcanzados por Sánchez-Monedero *et al.* (2001), citada por Cayuela *et al* (2004) y por Mupondi *et al.* (2006),

2.3.3.5. Contenido de sustancias minerales en el compostaje.

En Gráfico 2.4 se muestra la variación del contenido de sustancias minerales en el compostaje de la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer. En los que se observa como el contenido de sustancias minerales, aumenta a medida que se desarrolla el proceso de compostaje, producido por el avance del proceso de mineralización dado por la propia degradación de la materia orgánica, se observa la existencia de dos tipos de cinética, una de primer orden correspondiente a la fase termófila y otra mas lenta correspondiente a la etapa de enfriamiento y maduración.

En el gráfico correspondiente se observan diferencias en los dos tratamientos estudiados, los que presentan diferentes velocidades de mineralización, fundamentalmente las vinculadas con la fase termófila.

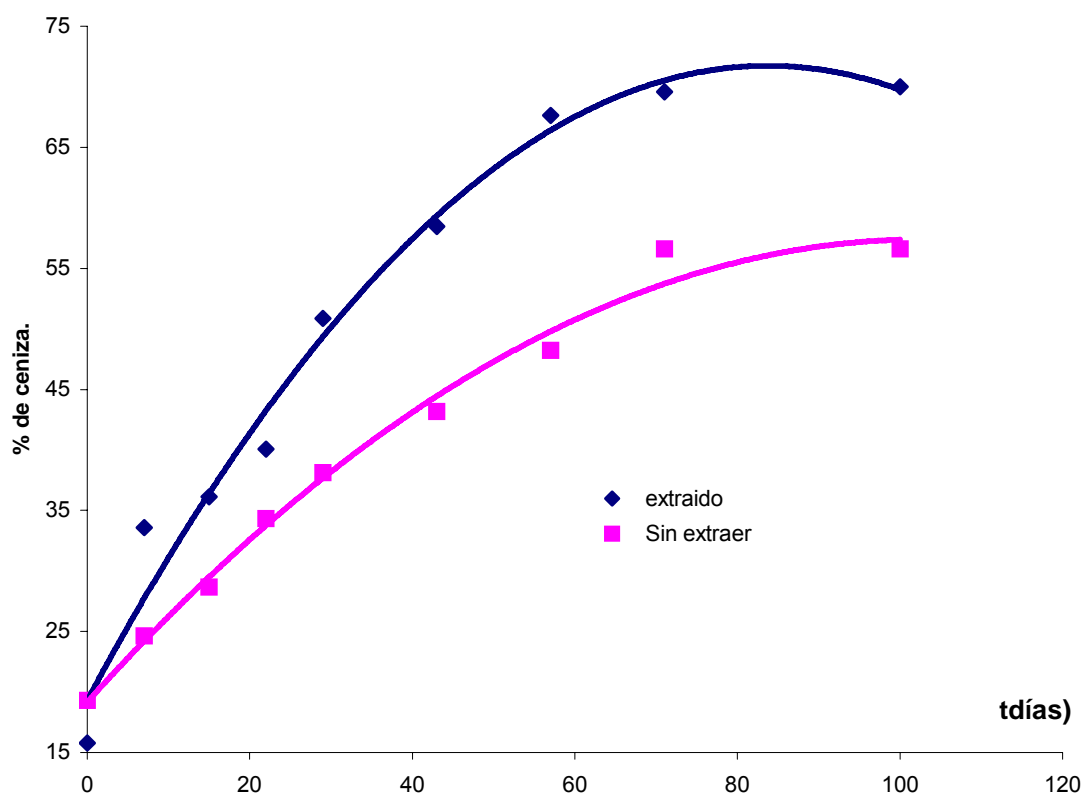


Gráfico 2.4. Variación del contenido de sustancias minerales con el tiempo de compostaje para la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muel extraída con NaOH al 1% y sin extraer.

El contenido de sustancias minerales con el tiempo de compostaje para la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muel extraída con NaOH al 1%, es siempre mayor, lo que muestra desde las primeras etapas del compostaje una mayor facilidad en su degradación.

Wen-Jing Lu *et al.* (2004) en su estudio sobre el compostaje obtiene un comportamiento similar de las sustancias minerales con la edad del compostaje

2.3.3.6. Variación del contenido de materia orgánica con el tiempo de compostaje.

El contenido de materia orgánica a lo largo del compostaje se muestra en el Gráfico 2.5. De forma contraria el contenido de sustancias minerales, disminuye a medida que transcurre el tiempo de compostaje.

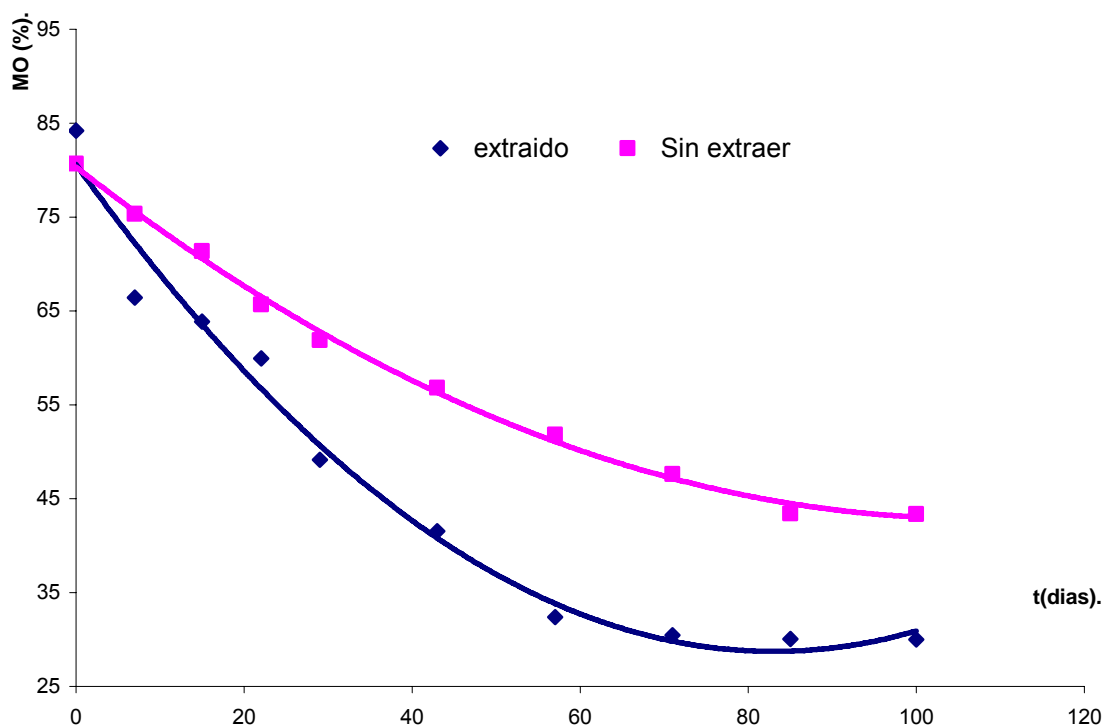


Gráfico 2.5. Variación del contenido de materia orgánica de la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer en función del tiempo de compostaje.

La disminución de este parámetro es más acentuada, para los dos tratamientos, en los primeros días del compostaje, debido a que las sustancias fácilmente degradables como azúcares, grasas, almidón y proteínas, son rápidamente consumidas, quedando solamente los compuestos más resistentes como son la celulosa y lignina, las cuales son degradadas más lentamente en las etapas de enfriamiento y de maduración, (Lu *et al.* 2004). Por otra parte estos carbohidratos resultan ser los principales precursores en la formación de los ácidos húmicos, entonces en esta etapa va a existir un predominio del proceso de humificación sobre el de mineralización.

Los contenidos de materia orgánica en el compostaje siempre es mayor para la corteza de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith sin extraer. Las modificaciones estructurales que sufre la corteza de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraídas con NaOH al 1%, hace que, los polisacáridos más resistentes sean degradados más fácilmente, ya que durante el proceso de extracción parte de la lignina contenida en la estructura de estas cortezas fue eliminada, provocando una

disminución del grado de polimerización de la celulosa, y modificaciones de las fuerzas electrostáticas que mantienen unidos a estos polisacáridos.

Un comportamiento exponencial en la variación del contenido de materia orgánica, similar al presentado aquí fue encontrado por Martínez-Iñigo y Almendros, en un compostaje directo de residuos forestales de roble, por Iglesias y Pérez en residuos urbanos, citado por Farías *et al* (1999) y por Cayuela *et al* (2004).

2.3.3.7. Comportamiento de la relación C/N en el compostaje.

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica, por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos.

Los cambios en la relación C/N a lo largo del compostaje para las mezclas de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer son mostrados en el Gráfico 2.6 donde se observa una tendencia a la disminución de la relación C/N con el tiempo de compostaje. Este descenso se debe a la disminución del contenido de carbono y al incremento del porcentaje de nitrógeno a lo largo del proceso.

En ambos casos la máxima velocidad de cambio se obtiene en las primeras etapas del compostaje, fundamentalmente en los primeros treinta días, dado con la gran actividad microbiana. Los valores de C/N se estabilizan alrededor de los cincuenta días para las mezclas de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y ochenta días para las mezclas de cortezas de estas especies forestales sin extraer.

Las relaciones C/N para las mezclas de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% son menores que para el las mezclas de estas cortezas sin extraer, dado fundamentalmente por la diferencia en la velocidades de degradación, la cual según los parámetros anteriormente analizados, dicha velocidad de degradación es mayor en mezclas de cortezas de las especies forestales estudiadas extraída con NaOH al 1%, por las modificaciones estructurales que provoca este sistema de solvente.

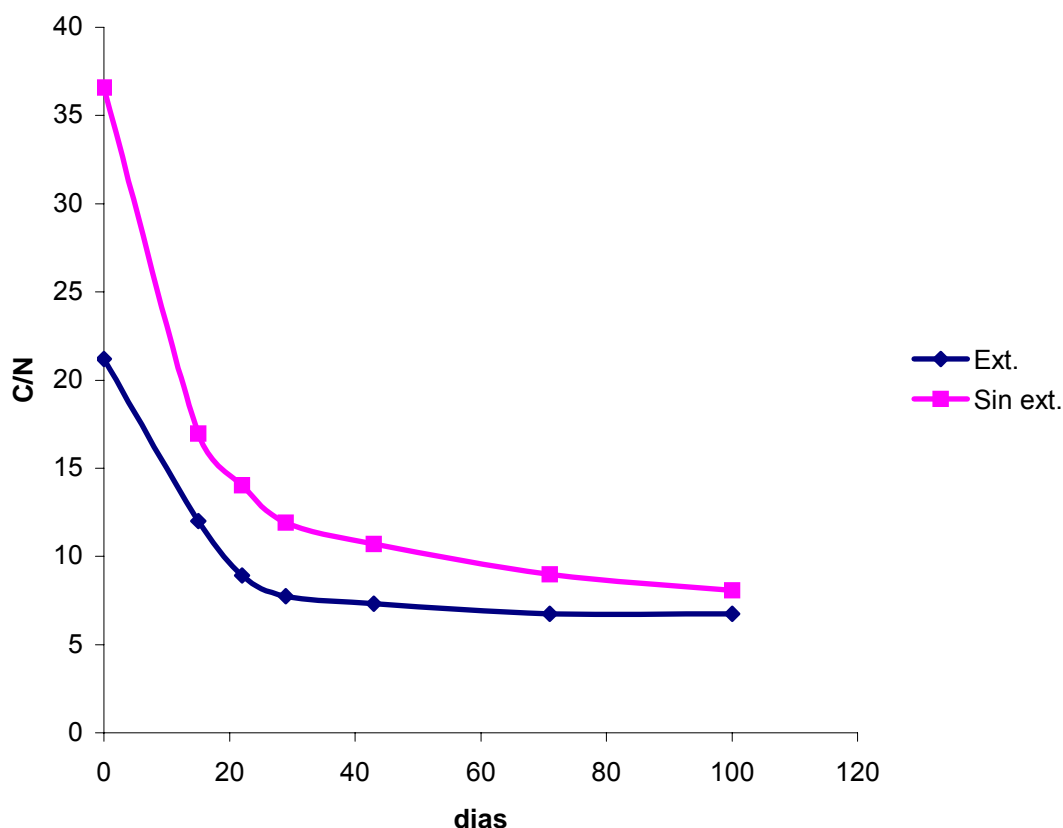


Gráfico. 2.6. Variación de la relación C/N de las mezclas de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer en función del tiempo de compostaje.

Las variaciones de la relación C/N obtenidas se corresponde con los resultados obtenidos por otros autores como, Salètes, *et al.* (2004), Mupondi, *et al.* (2006).

2.3.3.8. Contenido de celulosa en el compostaje.

En el Gráfico 2.6 se presenta la variación del contenido de celulosa de la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer a lo largo del compostaje. En la misma se observa una disminución del contenido de celulosa con la edad del compostaje en ambos procesos. Las máximas velocidades de degradación se alcanzan con los máximos de temperatura y durante la primera etapa de fase de enfriamiento y alcanza valores estables en etapas más avanzadas de la fase de maduración. Un comportamiento similar lo obtuvo autores como Eiland *et al.* (2001) y García-Gómez *et al.* (2005).

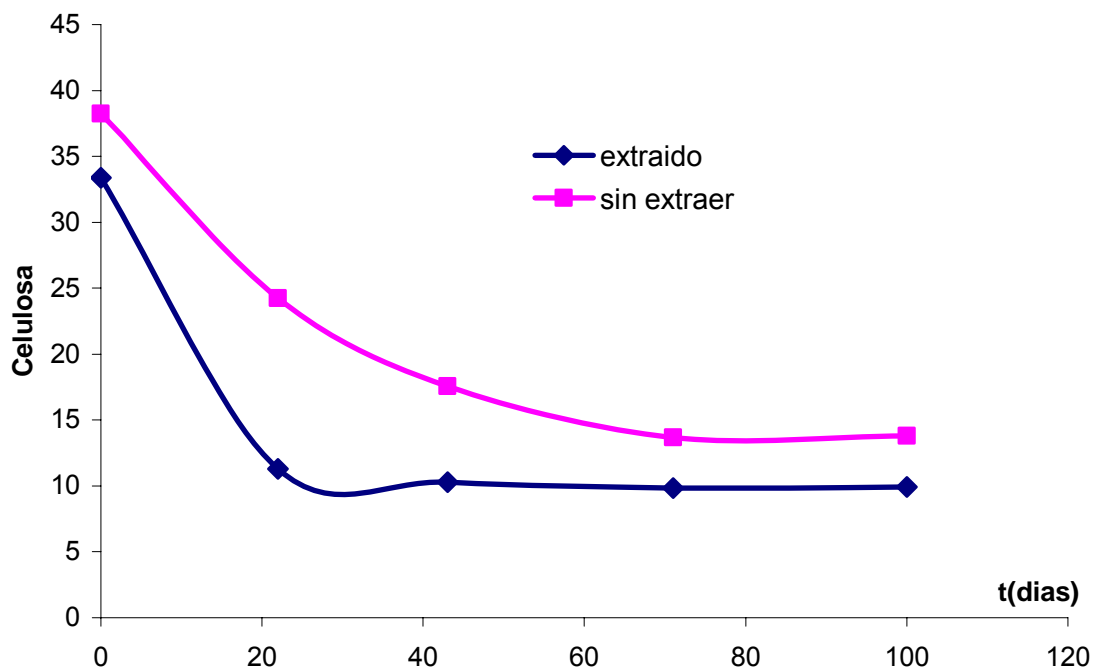


Gráfico 2.7. Contenido de celulosa de la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer a lo largo del compostaje

En el compostaje de la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% se observa una mayor velocidad de degradación de este polímero, alcanzándose entre los 40 y los 50 días una estabilidad en los contenidos de celulosa, siendo estos inferiores, a lo largo de todo el proceso, a los del compostaje de la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer a lo largo del compostaje. Los contenidos de celulosa de este segundo proceso se estabilizan alrededor de los 80 días.

Esta diferencia en cuanto al comportamiento del contenido de celulosa a lo largo del compostaje, puede estar ocasionado con las posibles modificaciones que la extracción con NaOH al 1% produce en la estructura de celulosa contenida en la corteza de estas especies forestales, lo cual facilita el proceso de degradación.

2.3.3.9. Contenido de lignina en el compostaje.

La variación del contenido de lignina de las mezclas de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer a lo largo del compostaje, se muestra en el Gráfico 2.8. En el mismo se observa una ligera disminución con el tiempo de compostaje, mas acentuada en la degradación de las mezclas de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1%. Alrededor de los cuarenta días se observa un incremento del contenido de lignina ya que en la fracción insoluble en ácido, obtenemos, lignina y además humus.

La lignina no es totalmente mineralizada durante el compostaje ya que es muy resistente, como resultado de su naturaleza aromática y la complejidad de su estructura. A lo largo del compostaje se incrementa el contenido de los ácidos húmicos, donde la lignina y además la celulosa son sus principales precursores, (García-Gómez *et al.* 2005). Puede haber una disminución en el contenido de polisacáridos, pero es acompañado por un incremento en la estructura aromática. Los ácidos húmicos son compuestos polimerizados de fracciones húmicas y consisten en sustancias heteropolicondensadas de sustancias fenólicas. Lo que justifica el incremento del contenido de insolubles en ácido.

Estos resultados son similares a los obtenidos por Dimitriv *et al* (2000), en el estudio de la emisión de gases y descomposición de sólidos durante el compostaje de residuos sólidos municipales.

Según García-Gómez *et al.* (2005), la lignina y sus productos de degradación son considerados como los mejores precursores de compuestos aromáticos en ácidos húmicos. Dimitri *et al* (2000), plantea que la lignina es también degradada entre un 30.1 y un 43%, pero en menor extensión que la celulosas y las hemicelulosas

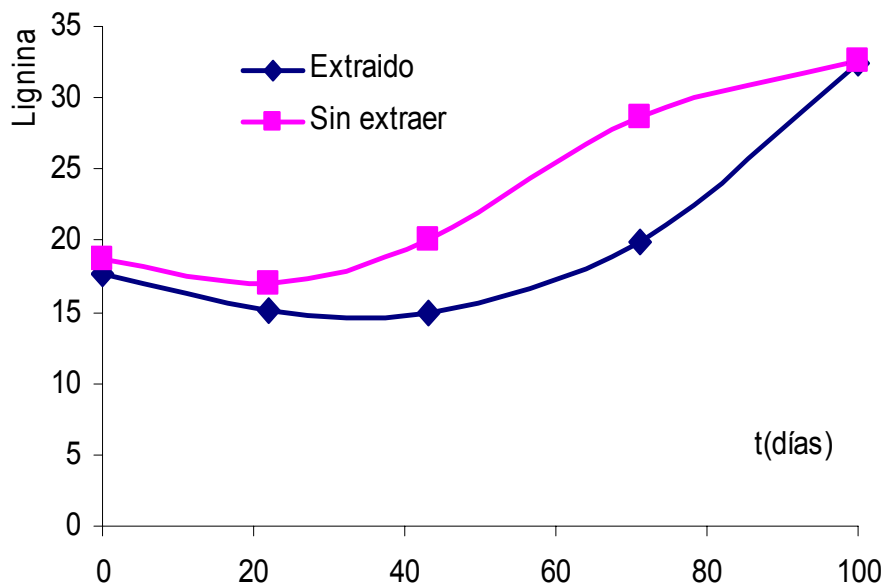


Gráfico 2.8. Contenido de lignina de la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer a lo largo del compostaje

2.3.3.10. Madurez del compost.

La estabilidad en los cambios de temperatura, pH, conductividad, materia orgánica, relación C/N, contenido de celulosa y lignina hablan del grado de madurez del compost. (Mupondi *et al.* 2006)

Teniendo en cuenta el Gráfico 2.1 podemos ver que la etapa de madurez del compost comienza alrededor de los 25 días para el compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y se estabiliza los valores de temperatura alrededor de los 50 días, a partir de la cual los cambios son menores. La fase de madurez para el compostaje de mezclas de corteza de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith sin extraer comienza, un poco mas tarde, alrededor de los 35 días y se hace estable la temperatura alrededor de los 80 días.

Con el comienzo de la etapa de madures, comienza la disminución del pH hasta valores estables de pH alrededor de los 50 días para las mezclas de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y los 80 días para mezclas de estas especies forestales sin extraer

Se observa un aumento del contenido de lignina y ácidos húmicos para ambos tratamientos indican el comienzo de la etapa de madurez, con un incremento de los contenidos de ácido húmicos.

La estabilidad de los valores de pH, conductividad, contenido de sustancias minerales, materia orgánica, relación C/N, contenido de lignina y celulosa, en el compostaje de mezclas de corteza de eucalyptus extraída con NaOH al 1% y sin extraer, indican que se obtiene un compost maduro a los 60 y 80 días aproximadamente respectivamente.

Los métodos biológicos, tales como pruebas de germinación y desarrollo, pueden ser buenas alternativas, o complementarias a pruebas químicas como indicadores de biomadurez, según plantea Lafound *et al* (2002) y Moldes *et al*, (2006). La germinación de semillas de *Eucalyptus saligna* Smith (Capítulo III), muestra, tanto en los compost obtenidos, como en mezclas de ellos con turba, % de germinación mayores que el 80%, lo que indica según Moldes *et al* (2006), la no existencias de fitotoxinas en el compost maduro. Este último autor plantea la utilización de este parámetro por otros autores para evaluar la madurez y toxicidad del compost.



Figura 2.3. Compost obtenidos a partir de mezclas de corteza de de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH 1% (a) y sin extraer (b)

2.3.4. Composición de los composts al final del proceso.

En la Tabla 2.6 se muestran las características químicas del compost maduro.

Existen diferencias significativas para cada uno de los parámetros estudiados para un $\alpha=0.05$. (Ver Anexos 8)

El pH en ambos casos es ligeramente alcalino, según la clasificación de Cairo y Fundora (2002), y fuera del rango óptimo recomendado por Noguera *et al.* (2003) para su uso como sustratos de cultivo.

Los valores obtenidos de pH eran esperados por el origen de los materiales con que éstos fueron elaborados. Dado que el pH óptimo de un sustrato para el crecimiento vegetal oscila entre 5,2 y 6,3 (Noguera *et al.* 2003), cuando estos composts vayan a ser utilizados como sustratos o componentes de sustratos de cultivo, será necesario corregir el pH de los mismos mediante la adición de algún agente acidificante –enmienda-, o bien, mezclándolos en proporciones adecuadas con otros materiales ácidos o neutros.

Tabla 2.6. Características química física el material de partida

Compost	Sin extraer	Extraído
pH	8.1±.013	7.9±0.14
Conductividad. (µS/cm)	538±2.20	891±3.54
M. Orgánica. (%)	43.38±0.10	28.57±0.29
Nitrógeno (%)	2.56±0.04	2.36±0.03
C/N (%)	8.98±0.05	6.41±0.02
Granulometría (%) <25mm	90.65±0.07	80.22±0.02
Pt (%)	79.35±0.04	77.05±0.10
dr (g/cm³)	2.41±0.05	2.49±0.07
da (g/cm³)	0.47±0.05	0.53±0.03

La conductividad, parámetro muy relacionado con el contenido de sales disueltas, se puede apreciar que también se encuentra fuera del rango óptimo recomendado por Noguera *et al.* (2003) para el compost a partir de la corteza de las especies forestales estudiadas extraídas con NaOH al 1%.

Según Ansorena, (1994) su efecto se corrige por lixiviación de las sales en exceso con agua, también se puede proceder a mezclarlos con otros materiales menos salinos (efecto de dilución).

El contenido de nitrógeno es alto y bajo el contenido de materia orgánica, lo que justifica el bajo contenido de la relación C/N, el cual se hace tanto más pequeño cuanto mas descompuesta y mineralizada está la materia orgánica. El nitrógeno es una fuente importante de nutriente para las plantas, lo que se traducirá en una reducción en la cantidad de fertilizantes minerales a utilizar en el cultivo de plantas en contenedor.

Las diferencias entre las características físicas, tales como densidad aparente, densidad real, porosidad total y granulometría, de los dos compost están dados por las modificaciones que se producen en corteza de las especies forestales estudiadas al ser extraído con NaOH al 1%, donde como se había explicado anteriormente, la extracción de no solo de los extraíbles, sino también de parte de la lignina, como muestran los análisis de DSC y TG realizados y explicados en el Capítulo I, provoca modificaciones en la estructura de la celulosa, como disminución de su grado de polimerización y variación en las fuerzas electrostáticas que existen entre los polímeros presentes en la estructura de la corteza de estas especies forestales lo que hace que se modifique las propiedades físicas.

Variaciones en las propiedades físicas como son el grado de inchamiento y de absorción de la celulosa fueron encontradas por Voronova *et al.* (2004), en su estudio sobre la influencia del catión en los procesos de extracción con sustancias alcalinas en productos lignocelulósicos.

La mayor densidad real corresponde al compost obtenido a partir de corteza de as especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% (2,49 g/cm³) por su mayor contenido en materia mineral.

La cantidad de partículas con un diámetro menor que 2,5 mm, es mayor en el compost de corteza de las especies de *Eucalyptus* estudiadas sin extraer. Para Abad *et al.* (2004) el rango óptimo de tamaño de partícula es de 0,25-2,5 mm.

La porosidad del compost obtenido a partir corteza sin extraer es mayor. Ambos compost tienen una porosidad en el rango sugerido por Montoya y Cámara, (1996), aunque difieren un poco del rango sugerido por Abad *et al.* (2004), (>85%).

Una mezcla que tenga una adecuada porosidad tendrá las ventajas potenciales de una buena aeración y retención de agua, lo que tiene una influencia directa en el desarrollo del sistema radical y de la planta en su conjunto.

2.3.5. Análisis Económico

En la Tabla 2.7 se presentan los costos de los compost obtenidos a partir de la corteza de mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer.

En la obtención de los compost los mayores gastos están relacionados con los gastos de electricidad en la molienda de la corteza de las especies estudiadas.

La materia prima utilizada es fundamentalmente es un residuo forestal, la corteza, si tenemos en cuenta además que el propósito del producto final del compostaje, es utilizable en el propio proceso productivo de las empresas forestales integrales, entonces sería adecuado realizar todo el proceso en las propias instalaciones de la empresa y tendríamos un gasto de transportación mínimo el cual incluye salario del chofer y gasto de combustible.

Tabla 2.7. Costos de los compost obtenidos

Compost	Costos (\$/m ³)
corteza extraída	6.80
corteza sin extraer	4.73

La diferencia en los costos de los compost obtenidos está dado por la extracción por NaOH al 1%. Esta diferencia en cuanto a costo se compensa con los posibles productos que se podrían producir a partir del extracto que se obtiene en la extracción con NaOH 1%, lo que aumentaría la valoración de este residuo.

Los beneficios ecológicos y sociales están dados por la utilización de un residuo que en la mayoría de los casos se acumula por ciertos periodos de

tiempo, provocando afectaciones al recurso suelo, por la lixiviación que el agua de lluvia ejerce en la corteza. Seguido a la acumulación de estos residuos, con frecuencia se incineran, provocando también otros impactos ambientales que son característicos de este método de tratamiento de residuos sólidos.

La corteza representa un residuo forestal que posee interesantes posibilidades de aprovechamiento tecnológico. Su transformación, para ser incorporados al propio proceso de producción, repercutiría positivamente en beneficios sociales, económicos y ambientales, con un aumento de los niveles de sostenibilidad para el sector forestal.

2.4. Conclusiones.

El estudio de compostaje realizado con mezclas de corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell extraídas con 1% de NaOH y sin extraer, ambas mezcladas con un 30% de estiércol de gallina, sugirió que:

- Es posible la degradación de la corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell extraídas con 1% de NaOH y sin extraer, ambas mezcladas con un 30% de estiércol de gallina, en un tiempo de 60 y 80 días respectivamente.
- La extracción con NaOH al 1%, influye positivamente, disminuyendo el tiempo de compostaje, en la degradación de la corteza del fuste comercial de las especies *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell extraídas con 1% de NaOH.
- Las propiedades físicas de los compost obtenidos difieren significativamente, por las modificaciones de tipo estructural que provoca la extracción con NaOH al 1%.
- Es posible dadas sus propiedades físicas y fisicoquímicas la utilización de los compost obtenidos como constituyente medio para la elaboración de sustratos para viveros forestales.

Capítulo III. Evaluación de los diferentes compost obtenidos en viveros forestales con plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith.

La calidad de los sustratos es un factor importante para el cultivo con éxito de las plantas en contenedores. La búsqueda de sustratos económicos, y ecológicos que reúnan las características fisicoquímicas y biológicas adecuadas, encaminados a mejorar la calidad de la plántula en condiciones de vivero que permitan un adecuado comportamiento y desarrollo en la plantación, es un aspecto de gran interés para el productor de plantas.

Evaluar los diferentes compost obtenidos, en viveros forestales haciendo uso de los parámetros morfológicos y fisiológicos de plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith es el objetivo de este capítulo.

3.1. Revisión bibliográfica.

3.1.1. Generalidades sobre viveros.

Los viveros forestales constituyen el primer paso en cualquier programa de repoblación forestal. Se definen como sitios destinados a la producción de plantas forestales, donde se les proporciona todos los cuidados requeridos para ser trasplantadas al terreno definitivo de plantación. Las necesidades de vivero en los programas de repoblación, se deben básicamente a que en ellos la inversión económica es mínima en lo referente a preparación de sitio, fertilización y mantenimiento; además se tiene un mejor control durante el tiempo de reproducción de plantas, (Cobas, (2001), y Castillo, (2006)).

El éxito en la formación de altas producciones forestales depende en gran parte de la calidad de las plántulas plantadas, que deben resistir las condiciones adversas encontradas en el campo y producir árboles con crecimiento volumétrico económicamente deseables, (Gómez, 2002).

3.1.2. Tipos de viveros.

Según Álvarez y Varona, (1988), citados por Castillo, (2006), los viveros pueden ser transitorios o temporales y permanentes, cada uno de ellos obedece a determinadas razones. También podemos considerar el vivero transitorio o en tierra y el móvil o sobre envases. Por su tamaño se clasifican también en pequeños, medianos y grandes.

Viveros permanentes: Estos tipos de viveros son generalmente de gran extensión y se administran intensivamente. Se requiere una gran cantidad de mano de obra, en particular durante el período en que se manipula la semilla, se siembra y se dejan los semilleros establecidos o la siembra completa en envases. Por tanto deben estar situados igualmente en lugares accesibles por carreteras y otras vías, para que el transporte de las posturas resulte económico y fácil. Debe encontrarse ventajosamente situado en relación con el agua y estar preparado para la producción de grandes cantidades de posturas de las especies que se necesitan producir (Álvarez y Varona, (1988), citados por Castillo, (2006)).

Viveros transitorios: Estos viveros se destinan a la producción de posturas para un área determinada y su tamaño depende de la extensión del área que se pretende plantar. Deben estar situados en la misma área que se va a plantar y terminan su misión al cabo de unos pocos años, una vez realizado el proyecto de plantación. Los pequeños viveros temporales tienen la ventaja de que pueden ubicarse en lugares con suministro de agua pequeño, pero adecuado, dentro del área de plantación o adyacente a ella. No son necesarias las instalaciones fijas costosas y el vivero puede trasladarse de acuerdo con el área de plantación. Sus principales desventajas son que normalmente tienen un personal temporal o no especializado, y frecuentemente se operan con equipos inadecuados (Álvarez y Varona, (1988), citados por Castillo, (2006)).

3.1.3. Viveros en envases.

Las técnicas de producción de plantas en envase se basan en cultivos fuera de suelo, realizados en cavidades de tamaño reducido, con el fin de controlar de esta manera, bien sean las condiciones de cultivo o las de implantación en el monte. Los objetivos a seguir serían según Peñuelas, (1999):

1. Manejar durante el cultivo en viveros, las variables de cultivo que puedan incidir sobre las condiciones fisiológicas de las plantas.
2. Aumentar las garantías de éxito de las repoblaciones, fundamentalmente cuando se realizan en alguna de las condiciones siguientes:

- a) Estaciones con sequías prolongadas y distribución poco uniforme de las precipitaciones de lluvia.
- b) Climas excesivamente fríos, con un período útil de plantaciones muy estrecho.
- c) Climas húmedos y de temperatura suaves, con periodos vegetativos prácticamente continuados, donde las plantaciones han de hacerse con la savia prácticamente en movimiento.

Un contenedor o envase forestal no es sino un envase más o menos grande y con ciertas características constructivas especiales donde se realiza el cultivo de una planta forestal. La mayoría de las características de diseño de los envases buscan la creación de un buen sistema radical y de su protección hasta su puesta en tierra, existiendo envases de diversas formas y tamaño con el interior estriado para garantizar que no se produzca enroscamiento de las raíces y presentando una abertura, para permitir la salida al exterior de las raíces, dando lugar al repicado, lo cual exige disponer los envases al aire libre y nunca en contacto con el terreno. La producción de plantas en contenedores aminora la crisis postransplante, ya que el sistema radical inicial se conserva íntegramente y no hay interrupción en la alimentación de la planta (Marcelli y Piotto, (1993), citado por Castillo, (2006)).

El contenedor mantiene la humedad durante el transporte del vivero al campo protegiendo a la planta contra el estrés hídrico, está menos expuesta a los daños mecánicos, permite controlar la micorrización y alarga el periodo de plantación gracias a una velocidad de colonización más elevada, teniendo también aceptación en las zonas más frías donde la nieve está presente hasta bien entrada la primavera. Las plantas en contenedor han mejorado la supervivencia y el crecimiento inicial de muchas plantaciones (Marcelli, (1984); Tinus y Owston, (1984); Riedacker, 1986, citado por Castillo, 2006).

Una de las principales características que distingue la producción de plantas en contenedor con respecto a la raíz desnuda, es el aumento en el control de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, riego, luz), además de la posibilidad de producir cultivos en cualquier época del año (Domínguez, 1997).

Actualmente existen en el mercado gran cantidad de modelos diferentes de contenedores y se pueden hacer distintas clasificaciones con respecto a las variadas formas, materiales, tamaños, modo de agrupación (de forma individual o en bandejas), y otras, pero respecto a las deformaciones que se producen en el sistema radical, se pueden dividir en contenedores de paredes rígidas y contenedores de paredes permeables. Estos últimos son los que mejores configuraciones radicales han producido en los estudios realizados (Marcelli, (1984); Marcelli, 1989; Piotta, (1990), citado por Castillo, (2006)).

Teóricamente, el contenedor ideal debe cumplir las siguientes características (Landis *et al*, 2000a):

- 1) Volumen mínimo para el desarrollo equilibrado de la planta
- 2) Adecuada densidad de cultivo (No. plantas/m²) para limitar el fenómeno de competición y favorecer la lignificación del fuste.
- 3) Impedir o reducir, dentro del límite aceptable, las deformaciones radicales.
- 4) Posibilidad de mecanización de las operaciones de producción (principalmente llenado y semillado).
- 5) Mantenimiento adecuado de la humedad y aireación del sustrato.
- 6) Resistencia a la manipulación y el transporte (maneabilidad) costo limitado.
- 7) Una condición ideal más es que fuera biodegradable.

Se han realizado numerosos estudios del efecto de las variables constructivas de los contenedores, sobre las características cualitativas de las plantas producidas y su respuesta en el campo.

La importancia del volumen del contenedor es indiscutible. Numerosos estudios realizados así lo demuestran (Gomes *et al*. (2002), Freitas *et al*. (2005), Malavasi y Malavasi, (2006)). El agua adicional y la mayor cantidad de nutrientes disponibles en los envases mayores proporcionan significativamente mejores resultados de crecimiento y supervivencia. El mayor volumen proporciona un desarrollo radical en el suelo más armónico, mientras que los

contenedores de volúmenes inferiores, al estar el sistema radical constreñido y comprimido, producen un desarrollo en el suelo anárquico. Los estudios realizados aconsejan, para climas áridos y secos, la utilización de contenedores mayores de 300 cm³. No obstante, para especies de crecimiento más rápido en vivero los contenedores de menor volumen pueden ser válidos. El volumen es una de las principales variables a tener en cuenta, otras características deben tomarse en consideración, como es la densidad del cultivo, que influye en el desarrollo de la planta. Altas densidades producen plantas con escaso diámetro, lo que da lugar a fenómenos de ahilamiento (fragilidad del tallo que se curva con facilidad con su propio peso). Por otra parte, escasas densidades producen planta con poco crecimiento en altura.

En ensayos realizados a 25 modelos diferentes de contenedores, se ha encontrado que el volumen del contenedor es la variable que más alta correlación muestra con el tamaño de la planta y la supervivencia en campo. La densidad es la variable que sigue en importancia al volumen y que se encuentra, sobre todo, estrechamente correlacionada con el diámetro de la planta y el desarrollo que alcanza la parte aérea. Al analizar las variables Peso seco de la parte aérea (PSA), Peso seco radical (PSR), Peso seco total (PST), número de ramificaciones, relación PSA/PSR y Potencial de regeneración de raíces, los envases que peores resultados presentaron fueron, principalmente, los de menor volumen y alta densidad.

La profundidad del contenedor parece ser que no es una variable que influya demasiado por sí misma, pero una alta profundidad unida a una sección estrecha puede ocasionar malos resultados en la planta por una falta de aireación en las raíces (Castillo, 2006). No obstante, esta variable presenta gran importancia en el caso del material e incluso el color con el que se fabrica el contenedor son también variables a tener en cuenta. Es importante que el material pueda durar como mínimo el tiempo necesario para criar la planta en un cultivo de una savia, sin que se rompa, curve o sufra desperfectos que afecten la calidad de la planta. El color del contenedor influye en la mayor o menor desecación de los cepellones, los colores oscuros provocan un aumento de temperatura en los cepellones, sobre todo de las plantas expuestas

directamente al sol, afectando la supervivencia y desarrollo de éstas (Domínguez, 1997).

Una de las principales características que distingue la producción de planta en contenedor, es el aumento en el control de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, riego, luz), además de la posibilidad de producir cultivos en cualquier época del año (Castillo, 2006). Sin embargo, este sistema de cultivo tiene también inconvenientes: limita el espacio del sistema radical interfiriendo en su crecimiento y produce deformaciones radicales. Estas deformaciones pueden hacerse patentes al año de cultivo o bien varios años después de la plantación. Las raíces se enrollan en el interior del envase, y después de la plantación, cuando las plantas alcanzan mayor desarrollo, puede ocurrir la estrangulación del tallo, que se quiebra a nivel del suelo. Este fenómeno cobra mayor gravedad cuando el periodo seco se prolonga durante meses y no se producen formaciones radicales de sustitución (Castillo, 2006).

El éxito o fracaso de un contenedor es una conjunción de variables constructivas y de cultivo. Por tanto, y teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, se debe tender a producir plantas bien equilibradas (con un desarrollo aéreo en consonancia con el radical) y lignificadas, descartándose las muy pequeñas o excesivamente desarrolladas, ya que un crecimiento excesivo de la parte aérea tampoco es bueno, puesto que su sistema radical no está en consonancia y no puede absorber la necesaria cantidad de agua y nutrientes, (Castillo, 2006).

3.1.4. Características de los sustratos y su empleo en vivero de contenedores.

Un buen sustrato no debe contener más de uno a tres componentes. La selección de componentes dependerá, de su disponibilidad y costo. Hay tantos materiales disponibles que los productores cometen el error de mezclar muchos tipos equivocados juntos. Las cuatro funciones del sustrato (soporte de las plantas, aireación, retención de nutrientes y retención de humedad) deben ser consideradas en el desarrollo de la fórmula. (Abarca y Aguilar, 2002).

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical de la planta. En principio, todo material sólido puede, eventualmente, ser utilizado como sustrato en la medida que permita un desarrollo normal del sistema radical y puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta. Los sustratos utilizados en viveros forestales son obtenidos a partir de mezclas de diferentes componentes orgánicos. Los materiales que se han experimentado para su uso son muchos y no siempre han respondido positivamente desde el doble punto de vista técnico y económico (Pastor, 2004).

Existe un elevado número de materiales aptos para la formación de sustratos. En general los más conocidos son: Las turbas, los residuos forestales (hojas, aserrín y cortezas), las arenas y los materiales sintéticos (perlita, vermiculita, lana de roca, poliestireno). También se elaboran sustratos con estiércoles, mantillos, tierra vegetal, y otros. En el caso de las turbas, al tratarse de materiales que han estado sometidos durante largo tiempo a los procesos naturales de degradación biológica, su estabilidad es elevada y no existe riesgo de descomposición (Calderón y Cevallo, 2003).

La turba natural, según Montoya y Cámara (1996) es el sustrato más utilizado universalmente ya sea puro o en mezcla, pues cumple prácticamente la mayor parte de las condiciones exigibles a un buen sustrato para el cultivo de una planta forestal, ya que es biológicamente estéril, higroscópico, de baja densidad, bastante estable, con buena porosidad y capacidad de retención de agua.

Aunque la turba es empleada en algunos viveros forestales que producen en contenedor, muchos sustratos modernos consisten en dos o más componentes diferentes que son elegidos para proporcionar ciertas propiedades físicas, químicas o biológicas (Moreno, 2002).

3.1.5. Propiedades físicas de los sustratos.

Las propiedades físicas que generalmente se estudian son: granulometría, color, retención de agua y aireación. Las propiedades físicas influyen en el

suministro de nutrientes. Generalmente suele darse más importancia a las propiedades físicas de los sustratos que a las químicas, ya que una vez seleccionada una mezcla como medio de cultivo, apenas puede modificarse su estructura física, a diferencia de su composición química, que puede ser alterada durante el desarrollo de la planta, mediante el riego y el abonado.

Para cumplir correctamente sus funciones de regulación del suministro de agua y aire, los sustratos deben poseer una elevada porosidad y capacidad de retención de agua, unidos a un drenaje rápido y una buena aireación. De ahí la importancia de la granulometría en las propiedades físicas de los sustratos (Alvarado y Solano, 2002).

Las propiedades físicas más importantes que permiten evaluar la capacidad de un material como sustrato, o comparar diferentes materiales son: (Ansorena, 1994)

- 1) Distribución del tamaño de partículas o granulometría.
- 2) Porosidad, y su reparto entre las fases líquida y gaseosa, es decir:
- 3) Capacidad de retención de agua
- 4) Porosidad de aire.

Influencia del tamaño de partículas en las propiedades físicas.

A simple vista apreciamos que los espacios que quedan libres entre partículas esféricas son más grandes cuanto mayor sea el tamaño de la esfera. Sin embargo, una propiedad curiosa de los materiales esféricos es que el volumen total de los huecos entre partículas no depende de su diámetro. A medida que reducimos el tamaño de las partículas esféricas contenidas en un cubo de un metro de lado, disminuye también el de los huecos, pero aumenta al mismo tiempo el número de huecos o poros, por lo que el volumen total de huecos permanece constante, e independiente del tamaño de partícula. Pero las partículas de los medios de cultivos granulares no son esféricas ni presentan un tamaño único, por lo que, en la práctica, la porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de partículas. La presencia de partículas muy pequeñas hace que disminuya la porosidad total y aumente la cantidad de agua retenida, ya que crece el número de micro poros o huecos pequeños, que son

los que retienen el agua. También se reducirá la porosidad ocupada por aire, al disminuir el volumen de los huecos entre partículas o macro poros, que son los de mayor tamaño.

Se recomienda una granulometría mediana a gruesa, con tamaños de 0,25 a 2,6 mm, que produzcan poros de 30 a 300 micras, lo que produce una suficiente retención de agua y buena aireación. También es importante que el tamaño de las partículas sea estable en el tiempo. Las partículas mayores de 0,9 mm dan lugar a poros grandes (de más de 100 micras) y conforman sustratos con poca retención de agua, aunque tienen buena aireación, mientras que las partículas menores de 0,25 mm tienen poros de tamaño pequeño (menores de 30 micras), lo que hace que el sustrato de esas características retenga una gran fracción de agua difícilmente disponible para las plantas y posea una aireación deficiente (Ansorena, 1994).

Se pueden agregar muchos materiales para mejorar la textura y estructura de un medio para cultivo en recipientes, pero antes deben entenderse sus propiedades para hacer las mezclas adecuadas. En un sustrato con una distribución ancha de tamaños, las partículas pequeñas se alojan en los huecos entre partículas grandes, reduciendo su tamaño y, por tanto, la porosidad total y la ocupada por aire. Al mismo tiempo, aumentará la cantidad de agua retenida, al ser mayor el número de microporos. En consecuencia, las propiedades físicas de los sustratos dependen en gran medida de la distribución de tamaño de partículas, por lo que modificando o seleccionando adecuadamente esta última, pueden conseguirse propiedades óptimas. La granulometría de los materiales empleados como sustratos suele ser muy variable, dependiendo de múltiples factores: origen y naturaleza, sistema de recolección, condiciones de trituración y tamizado. En el caso de la turba, el tamaño de partículas disminuye al aumentar el grado de descomposición. También influye el sistema de recolección empleado: el de molienda produce partículas muy finas, que taponan los poros grandes, disminuyendo la aireación del sustrato. Esto no ocurre cuando la turba se recolecta por el sistema de corte en bloque. En las cortezas, la granulometría suele depender del grado de molienda del material original; si no es suficiente, dará lugar a un sustrato con

escasa retención de agua. Por el contrario, una trituración excesiva puede dar como resultado un sustrato con pobres propiedades de aireación (Ansorena, 1994).

Densidad.

Es la masa seca por unidad de volumen del medio seco. Debe ser suficientemente grande para que las plantas de cierta altura, se sostengan, pero no mucho para que el peso del material no sea excesivo y dificulte el manejo y transporte. Se considera óptimo de 0,1 a 0,8 g/cm³, con un valor mínimo de 0,3 a 0,4 g/cm³ para la mayoría de las plantas en maceta, excepto para plantas grandes, las cuales pueden requerir una densidad de 0,5 a 0,75 g/cm³. La densidad real (*dr*) se define como el cociente entre la masa de las partículas del medio de cultivo y el volumen que ocupan, sin considerar los poros y huecos. Su valor es propio del material y, a diferencia de la densidad aparente (*da*), no depende del grado de compactación ni del tamaño de partículas. Para sustancias minerales, la densidad real puede ser próxima a la del cuarzo (2,65 g/cm³), mientras que para los compuestos orgánicos se toma el valor medio de 1,50 g/cm³. (Alvarado y Solano, (2002), Abad *et al.* (2004)).

La influencia de la compactación en la porosidad y en la densidad aparente se comprende fácilmente al considerar el efecto de comprimir un material poroso. Cuanto mayor sea la presión ejercida, menor será el volumen de poros, y por tanto la porosidad. Al disminuir el volumen total, manteniéndose la masa del material, aumentará la densidad aparente. La reducción del tamaño de los poros que se produce al aumentar la compactación hace que disminuya la porosidad ocupada por aire y aumente la retención de agua. El riego también ejerce un efecto de compactación sobre los sustratos en contenedores, que habrá de ser tenido en cuenta. El conocimiento de la densidad aparente es muy importante, no sólo porque permite calcular la porosidad, sino que además, proporciona por sí misma información útil: cantidad de sólido contenido en un volumen de sustrato comprado a granel, preparación de mezclas, ejecución de análisis químico en base a volumen (Pastor, 2004).

Porosidad total.

La porosidad de un medio de cultivo es el porcentaje de su volumen que no se encuentra ocupado por fase sólida, es decir, el cociente entre volumen de poros (V_p) y el volumen total que el medio ocupa en el contenedor (V_t). Así, una porosidad del 40% significa que en un litro de sustrato 400 ml están ocupados por poros y los restantes 600 ml por fase sólida. La porosidad varía en un amplio intervalo de valores, desde un 30% en suelos compactados hasta cifras del orden del 95% en algunas turbas. Por término medio, los buenos suelos de campo con hierbas contienen en torno a un 50% de poros, mientras que en los sustratos de maceta de porosidad puede llegar a alcanzar valores de un 95% o superiores, recomendándose un mínimo del 85% (Cairo y Fundora, (2002), Abad *et al.* (2004)).

Se define la porosidad como el volumen porcentual del sustrato no ocupado por sus propias partículas (Abarca y Aguilar, 2002). Una parte de este volumen corresponde a los poros que dan aireación a las raíces y son los de tamaño mayor a 30 micras. El resto de la porosidad es de tamaño pequeño (menores a 30 micras) y ofrecen una fuerte retención de agua, pues esta queda en forma de película alrededor de las partículas del sustrato después del riego. Se estima óptimo un valor del 70 a 90% del volumen del sustrato. Se denominan macroporos a los mayores de 30 micras, los cuales se vacían de agua con el drenaje. Los microporos son llamados también capilares, su tamaño es menor de 30 micras y solo retienen agua, y no dan aireación a las raíces. Una porosidad de tamaño entre 30 y 100 micras da suficiente retención de humedad, pero si el tamaño oscila entre 30 y 300 se tiene una suficiente retención de agua y aireación radical.

La mayoría de los suelos minerales tienen aproximadamente un 50% de sólidos y 50% de poros por volumen, los sustratos a base de materia orgánica son porosos en un 75 a 85%, lo que mejora su capacidad de retención de agua y aire para el cultivo en potes o bandejas. La falta de oxígeno reduce el crecimiento de las raíces y de la parte aérea de la planta, y cuando es por mucho tiempo puede llegar a provocar la muerte de las raíces. El oxígeno también es requerido por los microorganismos y, por tanto, las plantas

cultivadas en sustratos orgánicos, con poblaciones elevadas de microbios, requieren más oxígeno que las plantas cultivadas en sustratos minerales o inertes (Abarca y Aguilar, 2002).

Conforme las raíces respiran, el oxígeno es removido de la atmósfera del sustrato y es liberado dióxido de carbono. Estos gases difunden hacia afuera y adentro del sustrato a través de los poros. La porosidad total es una medida de la capacidad del sustrato de retener aire y agua, pero el tamaño de los poros determina la tasa de drenaje e intercambio de gases (Alvarado y Solano, 2002).

Los poros pequeños limitan la aireación porque permanecen llenos de agua después de un riego. Después del riego el agua drena rápidamente de los poros grandes, por influencia de la gravedad, lo que permite la entrada de aire al sustrato. La porosidad total de un sustrato para tubetes (porcentaje de espacio no ocupado por el sólido dividido por el volumen total del recipiente) debe ser mayor al 50% y la porosidad de aireación (el porcentaje de espacio de aire que permanece después de la saturación cuando el agua ha drenado libremente) debe oscilar entre 20 y 35%, dependiendo del medio. Es necesario un balance adecuado entre los microporos y macroporos para poder disponer de un sustrato de buena calidad y que pueda ser utilizado en un vivero de contenedores (Alvarado y Solano, 2002).

3.1.6. Propiedades químicas de los sustratos.

Varios materiales y sus mezclas son utilizados para preparar medios de cultivo (sustratos). Las características resultantes de las mezclas no siempre son la suma de las características de sus partes, por lo que lo importante de un sustrato no son sus ingredientes y componentes sino sus propiedades y parámetros.

La materia orgánica es un componente activo del sustrato, su incorporación mejora la estructura del espacio poroso, disminuye la densidad e incrementa la humedad, lo que trae consigo una mejor permeabilidad del suelo y/o sustrato, además libera dióxido de carbono y ciertos ácidos orgánicos durante la descomposición, lo que ayuda a disminuir el pH del suelo, a liberar el calcio por

la solubilización de los carbonatos y otros minerales del suelo (Fuentes y Oropeza, 1996).

Es importante que la descomposición de la materia orgánica, en el medio utilizado en los tubetes sea mínima. La descomposición de los agregados orgánicos puede llevar a una textura más fina y una aireación pobre. Dentro del recipiente, el volumen del medio disponible es pequeño para el crecimiento de las raíces, cualquier reducción significativa es perjudicial durante el desarrollo de las plantas. En un medio para cultivo en tubetes no son deseables materiales que se descomponen rápidamente (Burés, 2002).

Es importante el contenido de nitrógeno (N) en relación con el contenido de carbono (C) en el medio de enraizamiento. La materia orgánica se descompone principalmente por la acción de microbios. El carbono es el mayor componente de la materia orgánica (50% o más), el cual es utilizado por los microbios. El nitrógeno en la materia orgánica debe estar disponible, para los microbios, en cantidad de al menos 1 kg por cada 30 kg de carbono; de otra manera la descomposición se reduce. Cada vez que esta relación de C/N = 30 es incrementada, el N presente en el medio, o el añadido en el fertilizante, será utilizado por los microbios antes que por las raíces del cultivo y, en consecuencia, el cultivo presentará deficiencia de N. Esta situación puede compensarse aumentando la aplicación de N (Sandoval y Stuardo, 2000).

Acidez del sustrato (pH).

El pH de la solución del sustrato depende de la especie a cultivar y es importante porque determina la disponibilidad de nutrientes para la planta. Los cultivos de invernadero caen en dos categorías. La mayoría crece mejor en un pH ligeramente ácido entre 6,2 a 6,8 en un medio con tierra y 5,4 a 6,0 en un medio sin tierra. Un número pequeño de cultivos son llamados acidófilos pues crecen mejor en un pH muy ácido de 4,5 a 5,8 (Landis *et al.* 2000a).

La turba, corteza de pino, y muchos composts son ácidos. La turba puede tener un pH bajo (4,0). La arena y perlita son neutros (pH = 7). La vermiculita y algunas cortezas de maderas duras son alcalinas (pH sobre 7,0). Es importante

revisar el pH del medio una vez formulado y ajustarlo al valor adecuado antes de la siembra.

Con valores de pH inferiores a 5 pueden aparecer síntomas de deficiencias de N, K, Ca, Mg y B. Con valores superiores a 6 se producen problemas en la disponibilidad de Fe, P, Mn, Zn y Cu.

Es esencial poner atención a las propiedades físicas y químicas de los materiales seleccionados como ingredientes básicos. También deben ser considerados aspectos prácticos y económicos de la preparación de los sustratos. Se han propuesto los siguientes criterios para la evaluación y selección de materiales como ingredientes para la preparación de medios de cultivo estandarizados:

- 1) producir buen drenaje y aireación efectiva;
- 2) química y biológicamente estable cuando es pasteurizado;
- 3) bajo en sales solubles;
- 4) disponible listo, en grado física y químicamente uniforme;
- 5) económico;
- 6) capaz de retener humedad y nutrientes, entre aplicaciones, de modo que llene las necesidades del cultivo;
- 7) de peso liviano;
- 8) fácil de incorporar en una mezcla;
- 9) de pH aceptable.
- 10) Estar disponibles y no producir impacto ambiental su extracción.

A diferencia del suelo, que mantiene más o menos estables sus características en el tiempo, los sustratos no se comportan de igual forma. Para obtener buenos resultados se requiere que un sustrato tenga las siguientes características: (Alvarado y Solano, 2002).

- 1) Debe ser suficientemente denso y firme para sostener en su sitio las plantas o estacas, durante la germinación o el enraizamiento. Su volumen debe ser constante tanto si está húmedo como seco.

- 2) Debe retener suficiente humedad, para que el riego no sea muy frecuente.
- 3) Debe ser suficientemente poroso para que el exceso de agua drene del mismo, permitiendo la entrada de oxígeno a las raíces.
- 4) Debe tener un bajo contenido de sales.

Ningún medio es considerado perfecto para todas las plantas y condiciones de crecimiento, puesto que las diferentes especies de plantas y esquejes varían en sus necesidades. La capacidad de retención de agua que posee un medio, es definida por el tamaño de sus partículas, su forma y la porosidad. El agua se retiene en la superficie de las partículas y en el espacio formado por los poros. Mientras más pequeñas son las partículas, estarán más cerca unas de otras y, por tanto, el espacio de poros y su superficie será mayor, de aquí que puede ser almacenada una mayor cantidad de agua por estas (Alvarado y Solano, 2002).

Las partículas con forma irregular tienen mayor superficie que las que son lisas y redondas. El material poroso puede almacenar agua en las mismas partículas. El medio deberá de ser capaz de ofrecer una buena retención de agua, y poseer un buen drenaje, así, se deben evitar los materiales muy finos, para prevenir una retención excesiva de agua y una falta de movimiento del oxígeno dentro del medio (Alvarado, *et al.* 2002).

Las condiciones físicas encontradas en el campo no se presentan, de igual forma, al poner el suelo en un tubete. La proporción de espacios porosos con aire cambia cuando un suelo es colocado en un recipiente. La cantidad de agua retenida aumenta por cambios en las fuerzas que, normalmente, remueven el agua de los poros del suelo. La profundidad es el factor crítico. El cambio en la profundidad es el responsable del mayor contenido de agua y el menor contenido de aire del medio en un recipiente. Para aumentar el drenaje y para mejorar la aireación, el medio en un recipiente (bandeja, pote o banco) es enmendado con diferentes materiales. Los medios preparados sin suelo se han vuelto un recurso importante en la producción de cultivos en invernadero (Canovas *et al.* 2000).

Calderón y Cevallos, (2003) plantean que el sustrato para el llenado de cualquier tipo de envase puede componerse a voluntad, tendiendo a conseguir las siguientes propiedades: higroscopicidad, que permita espaciar suficientemente los riegos; baja densidad para facilitar el manejo y transporte; permeabilidad que permita el desarrollo de las raíces en todo su volumen; esterilidad relacionada a posibles patógenos para las plántulas; así como fertilidad adecuada para la producción de plantas con buen estado fisiológico. Además en el momento de la extracción, el cepellón formado debe ser consistente y facilitar la extracción sin adherencias a las paredes del envase.

En la práctica, para valorar la calidad de un sustrato no basta con conocer las propiedades generales de sus principales componentes, sino que es necesario determinar para cada ingrediente o mezcla particular, ya que las variaciones suelen ser muy importante. Así, las propiedades de la turba no solo dependerán de que sea rubia o negra, o del grado de descomposición intermedio entre ambas que posea, sino que variará en gran medida en función de su origen y condiciones de extracción granulometría, aireación, acidez y contenido en nutrientes, etc.

Un adecuado control de la calidad de un sustrato depende de la correcta interpretación de los análisis realizados. Muchas veces se olvida que los resultados obtenidos dependen en gran medida de los métodos utilizados que son muy variados. La selección en cada caso de los métodos adecuados de caracterización de sustratos no es sencilla, a causa de la variedad de métodos disponibles con diferentes grados de complejidad y todos ellos con ventajas e inconvenientes.

3.1.7. Tamaño y calidad de la planta forestal en vivero

El interés por el estudio de la calidad de la planta surgió hace aproximadamente 500 años, desde entonces, los forestales y viveristas percibieron su importancia, comenzando a estudiar y aplicar mediciones de Parámetros morfológicos y fisiológicos así como sus índices en los que se basa la calidad de la planta (Royo *et al.* 1997).

La calidad de una planta forestal se demuestra finalmente en el monte, por su capacidad de arraigar y vegetar larga y satisfactoriamente una vez plantada. Planta de calidad equivale a capacidad de arraigo. En buena medida, estas capacidades dependerán de las técnicas de repoblación, pero están condicionadas además por el cultivo en vivero (Domínguez *et al.* 2001).

La calidad de planta producida en vivero debe comprobarse en base a su desarrollo inicial y supervivencia en campo (Cetina-Alcalá *et al.* 2002). La condición nutricional de las plantas, medida a través de la concentración foliar de nutrientes, está muy relacionada con el comportamiento que éstas puedan exhibir en el terreno. Para lograr esto, es fundamental una adecuada fertilización definida por el tipo de fertilizante, la cantidad y la oportunidad de aplicación. Por ejemplo, plantas deficitarias en Nitrógeno pueden ser más pequeñas y presentar apariencia clorótica (verde pálido) y lo más probable es que presenten mal comportamiento al ser plantadas en sitios exigentes. Por el contrario, plantas con exceso de Nitrógeno o la adición de este elemento tardíamente afectará negativamente su resistencia al frío y a la sequía al promover el crecimiento aéreo de las plantas (Ramírez y Rodríguez, 2004).

El período de tiempo en que ha quedado en el vivero y el tamaño medio de la planta al momento de la plantación, varían mucho de un país a otro. Por un lado, Papua Nueva Guinea, cerca del Ecuador, necesita sólo 2 meses para obtener plantas de *E. deglupta* de 25–30 cm de altura. Por el otro, Irlanda, en una latitud superior a los 50°N, requiere 12–15 meses para obtener plantas de igual tamaño de especies resistentes al frío. En la mayor parte de las regiones tropicales y subtropicales, la altura media para la plantación varía de 15 a 30 cm y las plantas de este tamaño pueden obtenerse en 4–5 meses. En zonas más áridas, con clima mediterráneo, se emplean muy a menudo plantas de 30–50 cm de altura, que requieren 6–10 meses de vivero. En Cuba se han obtenidos tamaños medios de plantas de *Eucalyptus grandis* de 20 a 25 cm entre 60 y 70 días. Castillo *et al* (2003), González, (2006) reportan para *Hibiscus elatus* alturas entre 15-20 cm en 126 días, mientras que para *Pinus tropicalis* solamente se alcanza de 3-4 cm en 60 días.

Si bien la poda de raíces es menos esencial para las plantas en recipientes que para las plantas a raíz desnuda, varios países han aplicado métodos para evitar que las raíces pasen de un recipiente a otro. Se puede, por ejemplo, pasar un alambre por debajo de los recipientes desde una extremidad del cantero a la otra, o levantar los recipientes uno por uno. Algunos países, por ejemplo Cuba, según investigaciones realizadas por Medina, (2004) y Castillo *et al.* (2004) reducen la cantidad de riego algunas semanas antes de la plantación, a fin de endurecer las plantas, mientras que la mayoría de los países practican un abundante riego inmediatamente antes de sacar las plantas del vivero para ser transportadas al lugar de plantación. La necesidad de descartar las plantas deficientes en el vivero se aplica tanto en el eucalipto como en cualquiera otra especie para repoblación forestal.

Si la plantación tiene que ser postergada debido a condiciones desfavorables, o si la siembra tiene que hacerse muy temprano, las plantas demasiado grandes se podan. En Australia, las plantas de tamaño excesivo de *E. grandis* se acortan a 20 cm de altura; pueden ser emparejadas y confrontadas juntas, colocando una caja de plantación frente a otra. Sin este procedimiento, un camión de 1,5 toneladas, con un chasis diseñado especialmente, puede transportar 9 000 plantas al terreno. Con el emparejamiento, el mismo camión puede transportar 27 000 plantas.

Oliet (1995) plantea que la producción de plantas con calidad no adecuada conduce a obtener plantas con falta de arraigo lo que origina altos costos por este motivo ya que obliga a reponer las fallas producidas. Un segundo inconveniente es cuando se obtiene una respuesta insuficiente en el crecimiento para las posibilidades que el medio ofrece. Si bien la calidad de las plantas se determina por su comportamiento en el terreno, también influyen las condiciones de transporte, tiempo transcurrido desde el despacho hasta la plantación, técnica de plantación, las características del sitio, la técnica de preparación del suelo, y la intensidad y oportunidad del control de malezas. Los atributos morfológicos, el potencial de crecimiento radicular y la concentración foliar de nutrientes han sido exitosamente correlacionados con la supervivencia y el crecimiento inicial en terreno para muchas especies de uso forestal, por lo

que se consideran parámetros adecuados para evaluar la calidad de las plantas.

En general, plantas con un apropiado desarrollo del tallo, entre 20 y 35cm de largo y mayor a 3,5mm de diámetro de cuello, balanceadas desde el punto de vista aéreo y radicular (Relación tallo/raíz base peso seco menor que 2), debieran considerarse atributos morfológicos adecuados para plantarlas en una gran amplitud de sitios. Sin embargo, la morfología no dice todo respecto de la calidad de una planta. La planta debe ser capaz de producir raíces rápidamente en el lugar de plantación para establecerse y absorber el agua y los nutrientes del suelo mientras estén disponibles. En tal sentido, el potencial de crecimiento radicular es un indicador de esta capacidad, al determinar en un ambiente favorable el número de raíces nuevas, mayores a 1cm de largo (Aranda *et al*, 2005).

Los atributos morfológicos, el potencial de crecimiento radical y la concentración foliar de nutrientes han sido exitosamente correlacionados con la supervivencia y el crecimiento inicial en terreno para muchas especies de uso forestal, por lo que se consideran parámetros adecuados para evaluar la calidad de las plantas. En general, plantas con un apropiado desarrollo del tallo, del diámetro del cuello de la raíz, y balanceadas desde el punto de vista aéreo y radical, debieran considerarse adecuadas para plantarlas en una gran amplitud de sitios. La morfología de la planta es la manifestación de la respuesta fisiológica de la misma a las condiciones ambientales y a las prácticas culturales de vivero. Generalmente los atributos morfológicos son fáciles de cuantificar (Villar, 2002).

Los Atributos morfológicos hacen referencia a un conjunto de caracteres tales como la altura de la planta, el diámetro en el cuello de la raíz, la masa de la parte aérea, la masa del sistema radical y una serie de índice como la proporción entre la masa aérea y la masa radical (PA/PR), la esbeltez de los tallos (altura/diámetro), etc. Algunos de estos caracteres son los únicos de índole funcional que se emplean actualmente para clasificar la calidad de los lotes de plantas. La mayoría de ellos tienen una buena capacidad predictiva del desarrollo de las plantas en las plantaciones. En general, las plantas de una

savia de mayor tamaño, especialmente mayor diámetro, masa aérea y radical, presentan mejor desarrollo en campo (Villar, 2002).

A nivel general, se ha comprobado que la morfología, el tamaño y la cantidad de nutrientes en los tejidos de la planta cultivada en vivero tienen una influencia directa en la supervivencia y crecimiento de la planta en campo siendo los rangos de tamaño de planta y cantidad de nutrientes más adecuados característicos y concretos para cada una de las especies estudiadas. (Castillo, 2006)

Altura de la planta. Es uno de los parámetros más antiguos que fueron utilizados en la clasificación de la calidad de la postura (Perviainen, (1981) citado por Cobas *et al.* (2001)). Es fácil de medir, estable, pero no es muy informativo por sí sola (Birchler *et al.* 1998). Se mide por la longitud de la parte aérea, desde el cuello de la raíz hasta la base de la yema terminal.

La altura de las posturas según Carneiro (1995) citado por Cobas (2001) y Castillo, (2006) en el momento del plantío ejerce importante papel en la supervivencia y desarrollo en los primeros años después de la plantación. Existen límites en el crecimiento en altura de las posturas en el vivero por encima o por debajo de los cuales el desempeño de la altura no es satisfactorio después de plantadas.

Diámetro del cuello de la raíz. Este atributo es el que pronostica con mayor precisión la supervivencia y desarrollo post-trasplante. Da una aproximación del transporte de agua, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa para tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo. Es también de fácil medición.

Peso de las plantas. Según Carneiro, (1981) citado por Cobas, (2001) y Castillo, (2006), en lo referente al peso como parámetro de calidad se consideran los siguientes aspectos:

- Determinación del peso total.
- Determinación del peso de la parte aérea.
- Determinación del peso del sistema radical.

El peso seco del tallo y la hoja es una medida del desarrollo alcanzado por la planta al final de su cultivo, siendo un parámetro mucho más estable que el peso fresco (Van Den Driessche, (1982); Brissete, (1984) citado por Oliet, (1997).

Carneiro, (1995) citado por Cobas, (2001), establece que el peso de las raíces es un parámetro utilizado con frecuencia para caracterizar la masa total de raíces y puede ser considerado como fundamental medida de almacenamiento de fotosintatos en las plantas; sin embargo, no constituye un parámetro que garantice con precisión la cantidad de raíces absorbentes en el sustrato.

Área foliar. La magnitud de la superficie foliar está frecuentemente asociada con aspectos puramente fisiológicos. Según Burdett, (1990) citado por Oliet, (1995) el área foliar se relaciona con la transpiración por ser la hoja el lugar por donde la planta pierde agua. Una hoja puede ser grande o pequeña solo en relación con la capacidad absorbente del sistema radical y con el estado hídrico de la planta.

Atributos morfológicos del sistema radical. Los atributos más utilizados frecuentemente para expresar el desarrollo de las raíces y su distribución son: número, peso, superficie, volumen, diámetro, longitud y número de nuevas extremidades. El grado de desarrollo de las raíces es un indicador de su capacidad absorbente. Sin embargo la funcionalidad del sistema radical depende no solo del tamaño adquirido sino también del porcentaje de superficie no suberificada o absorbente respecto al total, siendo este porcentaje determinado por el número de raíces finas (fibrocidad), en las que se concentra la actividad de extracción de agua al ser más activas y permeables con relación a las gruesas, cuya función fundamental está relacionada con la conducción y anclaje de la planta (Thompson, 1985). Según Oliet, (2000), las propiedades de estos atributos, dada su estrecha relación con la capacidad absorbente de la planta, son más adecuados para pronosticar la supervivencia en plantación que los atributos de la parte aérea. De modo que la obtención en vivero de sistemas radicales más y mejores desarrollados puede constituir una garantía de actividad de la planta, especialmente en zonas de plantación con condiciones adversas.

3.1.8. Índices morfológicos.

Un índice morfológico es considerado la combinación de dos o más medidas de atributos morfológicos simples, proporcionando información adicional de la calidad de la planta frente a la consideración aislada de los atributos morfológicos que los integran (Oliet, 1995).

Relación parte aérea-parte radical. La relación parte aérea-parte radical (PA/PR) puede obtenerse por el cociente de peso, volumen o superficies. Se concibe como una medida del grado de equilibrio entre la superficie transpirante o aérea y la superficie radical o absorbente. A menor valor de la relación parte aérea-parte radical más favorecida está la absorción de agua frente a las pérdidas, lo cual es una condición favorable para zonas secas (Thompson, (1985) y .Benedetti y Delard, (2005))

La importancia de la proporción PA/PR de las plantas en su desarrollo en las plantaciones no es clara. La relación PA/PR medio difiere mucho entre especies, no existiendo un PA/PR ideal universal. Sin embargo, los resultados experimentales indican que no necesariamente un PA/PR reducido (mayor desarrollo radical con respecto al aéreo) implica un mejor desarrollo en campo (Benedetti y Delard, 2005).

Esbeltez. La esbeltez es la relación altura-diámetro del cuello de la raíz y constituye un indicador muy similar al diámetro del cuello de la raíz en su capacidad de predicción del crecimiento y la supervivencia en plantación e incluso superior. Su cálculo permite una estimación de la resistencia mecánica de la planta durante las operaciones de plantaciones o frente a vientos fuertes, especialmente en plantas producidas en contenedores (Pineda-Ojeda *et al.* 2004)

Índice de calidad de Dickson (QI). Este índice combina parámetros morfológicos de longitud y peso, expresando la potencialidad de la planta para sobrevivir y crecer en el campo (Dickson *et al.* (1960), citado por Olivo y Buduba, (2006)).

3.2. Materiales y Métodos.

Esta investigación se realizó en el organopónico de la Universidad de Pinar del Río, utilizando la tecnología de tubetes.



Figura 3.1 Vista parcial del umbráculo de la Universidad de Pinar del Río.

Las semillas utilizadas durante la investigación son provenientes de la base de semilla, las cuales fueron recolectadas en el primer trimestre del 2007.

La siembra se realizó, el 25 de mayo del 2007, se colocaron las semillas en los envases, y se utilizó como material de cubierta aserrín de pino fresco. El riego utilizado fue manual, diario, dos veces al día, a los 50 días se pasó a un riego diario.

El uso de malla negra fue durante la fase de establecimiento, posteriormente fue retirada. El agua utilizada para el riego cumplía con los parámetros de calidad establecidos para su utilización. No se fertilizó en toda la estancia de la plantas en el vivero. Después de cumplido los 60 días, se procedió a una fase de adaptación en condiciones ambientales normales antes del transplante.

Se utilizó un tubete plástico de color negro con forma de pirámide de base cuadrada (3,5x3,5 cm.), altura de 10,5 cm con una relación altura radio igual a 3, y un volumen total de 90 cm³.



Figura 3.2 Tubetes utilizados.

3.2.1. Germinación.

Se controló la germinación de las semillas que se depositaron en los tubetes pertenecientes a cada uno de los diferentes sustratos en estudio, con un conteo diario según la norma cubana NC 71-04 (1987). Se calculó el porcentaje de germinación para cada tratamiento. A los 29 días se dejó una sola planta por tubete. A los datos obtenidos se les realizó el tratamiento estadístico correspondiente.

Los sustratos utilizados para el llenado de los tubetes se muestran en la Tabla 3.1

Estos materiales fueron:

- Turba, extraída de la turbera del municipio San Luís, Pinar del Río.
- Compost, elaborados a partir de mezclas de corteza de *E. pellita* y *E. saligna* extraída y sin extraer con estiércol de gallina.
- Cáscara de arroz, procede del CAI arrocero “Los Palacios”, en el municipio del mismo nombre provincia de Pinar del Río.

Tabla 3.1. Composición de los sustratos utilizados en la producción de plantas de *Eucalyptus saligna* Smith en tubetes año 2007.

Sustratos	Abreviatura	Composición (%)
Compost(Corteza extraída)	CE	100
Turba+Compost(Corteza extraída)	6E	40+60
Turba+Compost(Corteza extraída)	3E	70+30
Compost(Corteza sin extraer)	CS	100
Turba+Compost(Corteza sin extraer)	6S	40+60
Turba+Compost(Corteza sin extraer)	3S	70+30
Turba+Cáscara de arroz	TP	70+30

3.2.2. Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 7 tratamientos y 50 réplicas un total de 350 tubetes.

3.2.3. Condiciones climáticas.

La temperatura y la humedad diaria fueron medidas dentro de umbráculo tres veces al día. Los valores medios obtenidos de estos parámetros son los siguientes:

- Humedad promedio del 88%
- Temperatura promedio de 32.5°C

Posterior a los 60 días las plántulas se sometieron a una fase de adaptación bajo condiciones climáticas normales, antes de llevarlas a plantación. Las condiciones climáticas correspondiente a esa fase se presentan en la Tabla 2.2:

Tabla 3.2. Datos meteorológicos año 2007.

Factores Climáticos 2007 (decenas)	Mayo		junio		julio			agosto		
	3ra	1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Temperatura media (°C)	25.1	26.2	25.8	26.5	26.8	27.1	26.5	27.1	26.4	26.3
Humedad relativa (%)	84	86	88	84	85	83	84	84	87	87
Precipitaciones (mm)	123.9	103	133.	15.4	10.7	47.8	34.1	11.1	96.2	49.5

3.2.4. Caracterización fisicoquímica de los componentes orgánicos y sus mezclas.

Para la caracterización química de los componentes orgánicos y sus mezclas se tomaron muestras de cada uno de los componentes orgánicos utilizados (compost y turba) y de los sustratos obtenidos a partir de la mezclas de los componentes orgánicos antes mencionados.

Se les determinó macronutrientes primarios y secundarios tales como: Nitrógeno, Potasio, Calcio y Magnesio, también se le realizaron otras determinaciones como, pH, conductividad, y contenido de materia orgánica.

La metodología utilizada fue la propuesta por Ansorena, (1994).

3.2.5. Caracterización física de los componentes orgánicos y sus mezclas.

Las propiedades físicas estudiadas fueron las siguientes: Densidad real, Densidad aparente, Porosidad total y tamaño de las partículas.

La determinación de la **Densidad real (dr)** se realizó por el método del picnómetro con agua y suelo (Terrés *et al.* 1997). Su valor se obtiene aplicando la fórmula siguiente:

$$dr = \frac{A}{(A + B) - C} \quad (3.1)$$

Donde:

A: Peso de la muestra del sustrato seco (g).

B: Masa del picnómetro con agua (g).

C: Masa del picnómetro con agua y sustrato (g).

La **densidad aparente compacta (da)** se determino por el método del cilindro cortante. Calculándose a través de la expresión:

$$da = \frac{M}{V} \quad M = Pf - Pi \quad (3.2)$$

Donde:

M = Peso del sustrato (g).

Pf = Peso final del cilindro con sustrato (g).

Pi = Peso inicial del cilindro solo (g).

V = Volumen del cilindro (cm³).

La **porosidad** fue calculada por la fórmula:

$$P(\%) = \left(1 - \frac{da}{dr}\right) * 100 \quad (3.3)$$

Donde:

P = Porosidad (%)

Da = Densidad aparente (g/cm³).

Dr = Densidad real (g/cm³).

El poder germinativo de las semillas se determinó pesando 1g de las mismas y colocándolas en un sustrato húmedo, realizando un conteo diario hasta los 8 días. La germinación comenzó a los 4 días después de la siembra. Se efectuó un conteo diario durante los primeros nueve días, para determinar el porcentaje de germinación según la NC 71-04 (1987). A los diez días después del último conteo se realiza la primera entresaca (trasquilado) dejándose entre dos y tres plantas por tubetes. Ya pasados veinte días se hizo la última entresaca dejándose una planta por tubete. En el ensayo se analizaron los **parámetros morfológicos**: altura, diámetro en el cuello de la raíz, número de hojas, peso seco aéreo, peso seco radical, peso seco total y área foliar.

La altura se comenzó a medir a partir de los 30 días. Este parámetro se midió desde el cuello de raíz hasta el extremo de la yema apical, utilizándose una regla graduada de 30 cm.

Con los resultados de la medición de altura se pusieron a prueba diferentes modelos matemáticos para decidir cual de ellos se ajustaba mejor al comportamiento de la altura en cada sustrato estudiado. Los modelos matemáticos se describen en la Tabla 2,3.

Para la medición del **diámetro del cuello de la raíz** se utilizó el pie de rey, con un error de 0,05 mm.

El peso seco aéreo es la masa seca del tallo más la masa seca de las hojas.

El **peso seco total** comprende la masa seca aérea más la masa seca de la raíz. Estas masas se determinaron en el laboratorio de Química de la Universidad de Pinar Del Río utilizando una balanza analítica con un error de 0,1 mg. Se tomaron 10 plantas por sustrato. Para el secado de las muestras se utilizó la estufa, a 100°C, inicialmente por una hora, después a 75°C por 48 horas hasta peso constante.

Tabla 3.3. Modelos matemáticos para describir la dinámica de crecimiento de las plantas *Eucalyptus saligna* en contenedores.

Ecuación
$Y = b_0 + (b_1 t)$ lineal,
$Y = b_0 + (b_1 \ln(t))$ logarítmica,
$Y = b_0 + b_1/t$ inverso,
$Y = b_0 + (b_1 t) + (b_2 t^2)$ cuadrática,
$Y = b_0 + (b_1 t) + (b_2 t^2) + (b_3 t^3)$ cúbica,
$Y = b_0 (t^{b_1})$ potencia,
$Y = e^{(b_0 + b_1/t)}$ exponencial

El área foliar se determinó por el método gravimétrico y aplicando la fórmula:

$$A_f = \frac{1dm^2 * P_f}{P_p} \quad (3.4)$$

Donde:

Pf - peso de la forma de la hoja (g).

Pp- peso de un decímetro cuadrado de papel (g).

El largo de la raíz principal fue medido con una regla graduada de 30cm, desde el cuello hasta el ápice. Para ello se halló el peso seco total del sistema radical, después fueron separadas las raíces finas de las raíces gruesas, y se determinó el porcentaje sobre el total de cada una de ellas.

3.2.6. Índices morfológicos

Índices de Dickson (I.D.)

Este índice combina parámetros morfológicos de longitud y masa, y es posible calcularlo por la siguiente fórmula:

$$QI = \frac{Pst}{\frac{h}{d} + \frac{Psa}{Psr}} \quad (3.5)$$

Donde:

Pst- masa seca total (g).

h- altura (cm)

Psa- masa seca aérea (g)

d- diámetro (mm).

Psr- masa seca de la raíz (g).

Índice de Esbeltez (H:D)

Se determina a través de la relación

$$H / D = \frac{h}{d} \quad (3.6)$$

h = altura (cm),

d = diámetro (mm).

Relación parte aérea / parte radical (PA/PR)

Es la producción de materia seca concentrada en las raíces respecto al total de la planta y es determinada de la forma siguiente:

$$PA/PR = \frac{PSA}{PSR} \quad (3.7)$$

PSA = peso seco aéreo (g).

PSR = peso seco radical (g).

Balance hídrico de la planta (BAP).

Establece la relación existente entre la parte aérea de la planta, la parte radical y el diámetro del cuello de la raíz. De esta forma el BAP se determina mediante la siguiente fórmula:

$$BAP = \frac{PSA}{Diam * PSR} \quad (3.8)$$

Donde:

PSA = peso seco aéreo (g).

Diam = diámetro en el cuello de la raíz (mm).

PSR = peso seco radical (g).

Índice tallo raíz (ITR) (Iverson 1984).

$$ITR = \frac{PST}{PSR} \quad (3.9)$$

PST = peso seco aéreo (g).

PSR = peso seco radical (g).

3.2.7. Estado nutritivo de las plantas

Para la realización del análisis foliar primeramente fueron seleccionadas 10 plantas, lavadas y secadas (las hojas) en la estufa y pasadas por un tamiz de 0.5 mm, envasadas y llevadas a los laboratorios del MINAG. Se les determinó macronutrientes primarios y secundarios tales como: Nitrógeno, Potasio, Fósforo, Calcio y Magnesio.

3.2.8. Mediciones de las variables Destubetado, Estabilidad del sustrato y Arquitectura radical

Para la determinación de estas variables se tomaron quince plantas por tratamiento y se establecieron diferentes niveles (Ver figuras 3.3, 3.4 y 3.5).

Tabla 3.4. Niveles establecidos para las variables Destubetado, Estabilidad del sustrato y Arquitectura radical.

Variables	Niveles		
	c	b	a
Destubetado	Fácil	Medio	Difícil
Estabilidad del sustrato	Alta	Intermedia	Baja
Arquitectura radical	Óptima	Aceptable	Mala



Figura 3.3 Destubetado.

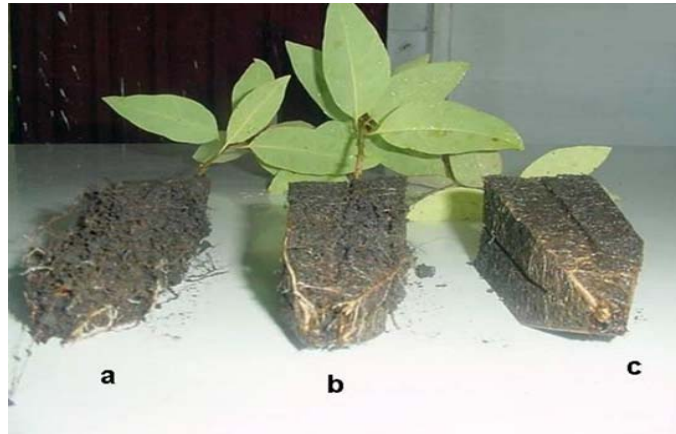


Figura 3.4 Estabilidad del cepellón (a) baja, (b) intermedia (c) alta

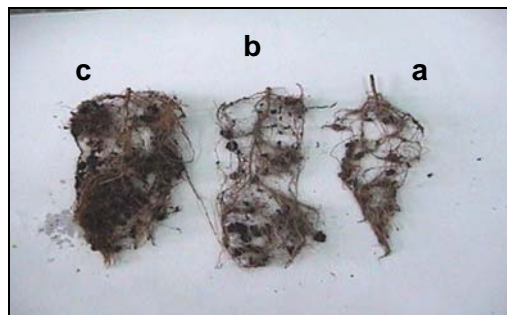


Figura 3.5 Arquitectura radical a) mala b) aceptable c) óptima.

3.2.9. Atributos fisiológicos

Transpiración cuticular: Es la que se produce a través de las paredes celulares exteriores una vez que los estomas se han cerrado. El procedimiento para su determinación, descrito por Villar *et al* (1997b), citado por Oliet, (2001), se basa en, una vez regadas (saturadas), se tomaron 10 plantas al azar por cada tratamiento, se cortaron a la mañana siguiente y se pesaron en la balanza analítica. Después de pesar cada plántula, se colocaron en bolsas de polietileno y fueron puestas en la oscuridad. A estas muestras se les fueron haciendo pesadas cada una hora durante 8 horas, obteniéndose una curva de pérdida de peso. La parte lineal de esa curva se asume que es la tasa de pérdida de agua a través de la cutícula. Esa tasa se va dividiendo por peso seco del tejido aéreo obteniéndose la transpiración cuticular.

$$T_c = \frac{P_i - P_f}{P_s} \quad (3.10)$$

Donde:

Tc = transpiración cuticular,

Pi = peso inicial (g)

Pf = peso final (g)

Ps = peso seco (g)

Potencial hídrico

El potencial hídrico se determinó en horas de la madrugada y al mediodía, utilizándose para ello la Cámara de Scholander o cámara de presión. Procedimiento para la determinación del potencial hídrico de madrugada: Se tomó una muestra de 6 plantas al azar por tratamiento, las cuales fueron saturadas la noche anterior y cortadas durante la madrugada, luego se colocaron en la Cámara de Scholander. A estas plantas se les aplicó una presión, la cual hizo que saliera una pequeña gota de agua en la superficie del tallo, marcando así el manómetro de la cámara el Potencial Hídrico de madrugada (de base o al alba). Para la determinación del potencial de mediodía se tomaron nuevas muestras de plantas y se siguió el mismo procedimiento. Metodología descrita por Landis y col (2000)

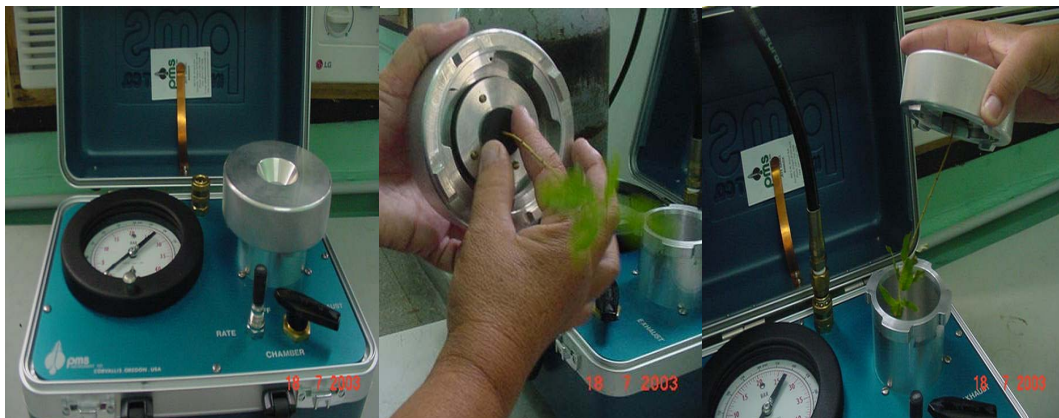


Figura 3.6 a, b, c Determinación del potencial hídrico con la cámara de Scholander

3.2.10. Valoración económica.

Se realizó la valoración económica de la investigación a partir de los costos de los materiales utilizados, la transportación, combustible y salarios involucrados, para determinar cuanto cuestan los sustratos investigados en comparación con el que emplea la empresa actualmente, demostrando su factibilidad económica.

3.2.11. Análisis estadístico.

Se utilizó la prueba de comparación de medias de Duncan para las variables que cumplieran con una distribución normal. Se realizó un análisis de regresión curvilínea por estimación.

Se determinaron las correlaciones entre todos los parámetros morfológicos y sus índices a través de una matriz de correlación de Pearson para después realizar los análisis de regresión correspondientes.

Se emplearon métodos de clasificación jerárquica sin aprendizaje (análisis de clusters) que condujeron a los dendrogramas correspondientes, donde se demuestra gráficamente las fuerzas de enlace existentes entre las variables analizadas.

Para la realización de estos análisis se utilizó el paquete estadístico SPSS para Windows Versión 11.5.

3.3. Resultados y discusión

En la Tabla 3.5 se muestra la caracterización química de la turba utilizada en la preparación de los sustratos. El pH en la turba es clasificado extremadamente ácido según la clasificación de Cairo y Fundora, (2002), mientras que los pH de los compost obtenidos en este trabajo, como vimos en el Capítulo II, son moderadamente alcalinos por lo que se realizaron mezclas de dichos compost con la turba, buscando obtener un pH óptimo o lo más cercano al óptimo para el crecimiento y desarrollo de las plántulas, teniendo en cuenta que la disponibilidad máxima de nutrientes ocurre a un pH de 5,0 a 5,5 según Landis *et al.* (2000) y que la turba además es uno de los sustratos más utilizados en la producción de plantas a nivel mundial.

Tabla 3.5. Caracterización química de la turba utilizada en la preparación de los sustratos.

pH	MO	Ca	Mg	K	P ₂ O ₅	N
3,24	38.60	0.8	0.47	0.09	0.35	1.26

El pH es uno de los parámetros más importantes a la hora de caracterizar un sustrato, ya que de él dependen, la asimilabilidad de nutrientes minerales y la cantidad de nutrientes retenidos en el complejo de cambio.

3.3.1. Propiedades Químicas de los sustratos utilizados en el llenado de los tubetes.

En la Tabla 3.6 se aprecia las propiedades químicas de los sustratos utilizados para el llenado de los tubetes.

Se observa que el pH de los sustratos formados por 100% de compost (CE y CS) tienen un pH moderadamente alcalino fuera del rango recomendado por Abad *et al.* (2001), el cual se encuentra entre 5,2 y 6,3, pues es donde se desarrolla mejor la mayoría de los cultivos. Los sustratos 6E y 6S presentan valores de pH aunque cercano, un poco por encima del rango óptimo de pH y entre los mismos no existen diferencias significativas, pero si, entre los

restantes sustratos. Los valores de pH disminuyen con el incremento del contenido de turba, la cual presenta un pH ácido (3.24).

Según Landis *et al.* (2000) las especies forestales toleran un intervalo relativamente amplio de valores de pH pero las coníferas crecen mejor en un pH alrededor de 5,5 y las latifolias prefieren valores relativamente mayores, alrededor de 6,5. Symonds *et al.* (2001) estudió 35 especies del *Eucalipto* en viveros con un sustrato compuesto por turba más caliza y dolomita en una proporción de 1:1 para proporcionar un rango del pH experimental de 5,1-8,9 obteniendo un crecimiento mayor para valores de pH comprendidos entre 5,1 y 5,6.

Todos los sustratos donde se utiliza el compost de corteza extraída, presentan altos valores de conductividad, un poco alejado del rango recomendado por Abad *et al.* (2001), y Noguera *et al.* (2003), aunque su efecto puede ser corregido, según Ansorena, (1994) por lixiviación de las sales con exceso de agua.

Los valores de conductividad eléctrica presentan diferencias significativas entre todos los sustratos y disminuyen al disminuir el contenido de compost. Un comportamiento similar con estos resultados se observa en los contenidos de sodio obtenidos para cada uno de los sustratos elaborados.

Sánchez- Monedero *et al.* (2004), estudia el efecto de salinidad de diferentes compost en la germinación y desarrollo de plántulas de *Brassica oleracea* L y reporta resultados semejantes a los obtenidos con sustratos comerciales cuando se utilizan mezclas de los compost menores que un 67%. Moldes *et al.* (2006), hace un estudio comparativo sobre la calidad biológica de diferentes compost como constituyente medio para la producción de plantas, los cuales tenían un alto contenido de sales disueltas

Los contenidos de materia orgánica son menores que los recomendados por Abab *et al.* (2001) y Noguera *et al.* (2003). Los bajos valores de materia orgánica están dados por el grado de mineralización que se alcanzó en el compostaje realizado.

Tabla 3.6. Características químicas físicas de los sustratos utilizados para el llenado de los tubetes

Sust.	pH	Cond. ($\mu\text{S/cm}$)	MO	Ca	Mg	K	Na	N
			(%)					
SC	8.1 \pm 0.03f	538 \pm 2.36c	43.80 \pm 0.28d	3.30 \pm 0.03f	0.41 \pm 0.05d	0.79 \pm 0.028f	0.074 \pm 0.003c	2.36 \pm 0.07e
6S	6.9 \pm 0.20d	520 \pm 2.85b	41.17 \pm 1.02e	2.24 \pm 0.05d	0.30 \pm 0.04c	0.30 \pm 0.04c	0.037 \pm 0.003ab	1.42 \pm 0.03c
3S	5.9 \pm 0.03c	515 \pm 1.73a	36.78 \pm 0.04c	1.63 \pm 0.05b	0.15 \pm 0.03b	0.13 \pm 0.02b	0.030 \pm 0.004e	0.71 \pm 0.03b
CE	7.2 \pm 0.03e	974 \pm 1.73g	34.73 \pm 0.24a	2.14 \pm 0.04f	0.33 \pm 0.05c	1.33 \pm 0.02g	0.110 \pm 0.03d	2.56 \pm 0.003f
6E	6.9 \pm 0.03d	936 \pm 2.84f	35.60 \pm 0.46b	3.24 \pm 0.03c	0.20 \pm 0.04b	0.72 \pm 0.04e	0.077 \pm 0.04c	1.54 \pm 0.03d
3E	5.6 \pm 0.01b	891 \pm 4.08e	37.01 \pm 0.07c	2.67 \pm 0.07e	0.15 \pm 0.02b	0.35 \pm 0.06d	0.052 \pm 0.003bd	0.77 \pm 0.03b
TP	4.7 \pm 0.04a	740 \pm 3.97d	37.33 \pm 0.06c	trazas	trazas	0.08 \pm 0.02a	0.008 \pm 0.003a	0.63 \pm 0.04a
Std. Dev.	1.08	195.66	3.7	1.07	0.13	0.43	0.92	0.75

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

Los valores de materia orgánica de los sustratos 3E, 3S y la turba no presentan diferencias significativas, pero sí con el resto de los sustratos. Autores como Trigueiro y Guerrini, (2003) y Moldes *et al.*, (2006), trabajan con sustratos que presentan bajos valores de materia orgánica, semejantes a los obtenidos en este trabajo.

Los contenidos de calcio son elevados, lo que se le atribuye al estiércol de gallina, utilizado en el compostaje y disminuye con el incremento de turba en los sustratos. Los menores valores se obtienen en el sustrato elaborado con turba y paja de arroz.

Los incrementos de compost en los sustratos, aumentan los contenidos de potasio, nitrógeno y magnesio, o sea que los mayores valores de estos elementos esenciales se corresponden con los sustratos elaborados con 100% de compost

3.3.2. Propiedades Físicas de los sustratos utilizados en el llenado de los tubetes

En general las propiedades físicas de los sustratos no pueden predecirse de forma sencilla a partir de sus ingredientes, ya que ellos al mezclarlos, se producen interacciones entre los componentes, que hacen que las propiedades físicas de la mezcla final no sean las medias de sus ingredientes.

En este trabajo se le confiere una mayor importancia a un grupo de parámetros tales como: la densidad real, densidad aparente, la porosidad, así como al tamaño de las partículas.

En el Gráfico 3.1 se observa los cambios que se producen en la densidad real al aumentar los contenidos de compost en los sustratos obtenidos. Para todos los contenidos de compost utilizado, siempre las densidades reales de los sustratos formados por compost de corteza extraída son mayores y no se encuentran diferencias significativas entre los sustratos elaborados con un 100% de compost y los elaborados con un 60% de compost.

Todos los valores se encuentran dentro del rango óptimo recomendado por Abad *et al.* (2004), Abad *et al.* (2001).

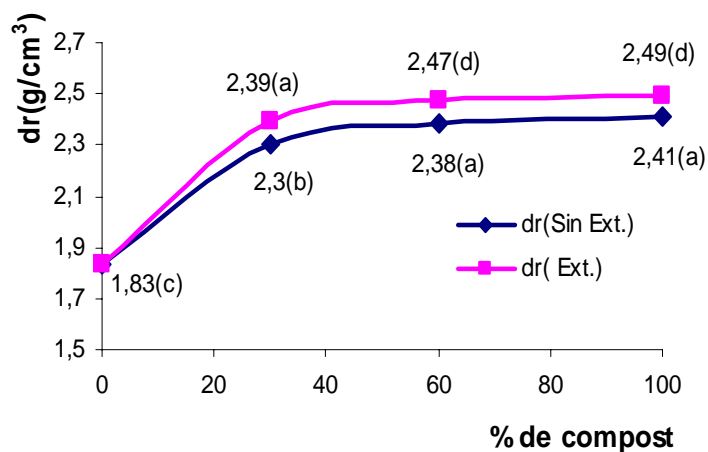


Gráfico 3.1. Variación de la densidad real con los contenidos de compost obtenidos
 Letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
 Prueba de comparación de medias de Duncan

Con el aumento de los diferentes contenidos de compost utilizados para confeccionar los diferentes sustratos aumentan los valores de densidades reales. Este comportamiento ha sido obtenido por otros autores, como, Chen *et al.* (2002); Guerrero *et al.* (2002), Chong, (2003).

Los cambios que se producen en la densidad aparente al aumentar los contenidos de compost obtenidos, se observan en el Gráfico 3.2. Las densidades aparente del los sustratos constituidos con diferentes contenidos de compost de corteza sin extraer son menores.

En el gráfico también se muestra un aumento de esta propiedad física con el aumento de los contenidos de compost en los diferentes sustratos, resultados similares fueron obtenidos por Guerrero *et al.* (2002), Chong, (2003), Yu y Zinati, (2006).

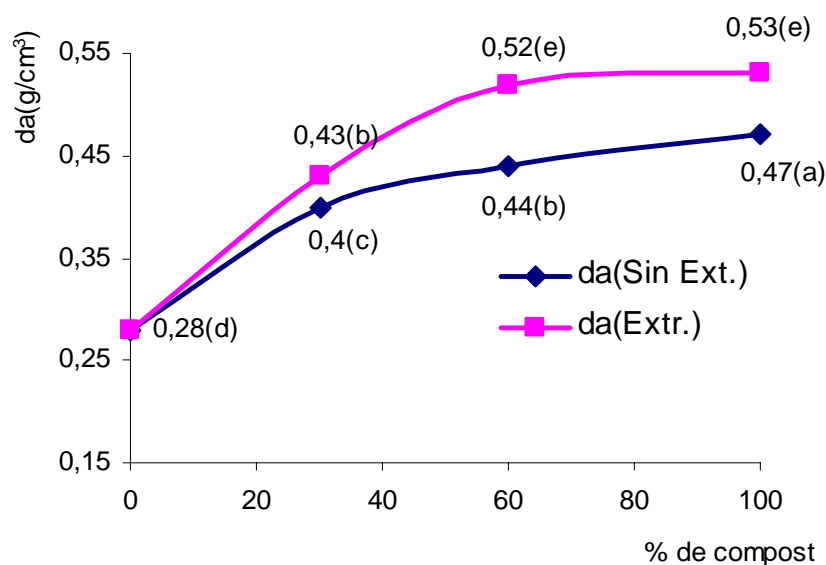


Gráfico 3.2. Variación de la densidad aparente con los contenidos de compost obtenidos. Letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$. Prueba de comparación de medias de Duncan.

Abad *et al.* (2004), recomienda niveles óptimo de densidad aparente menores que $0,4 \text{ g/cm}^3$ y como se observa en el gráfico, los valores obtenidos, son mayores que $0,4 \text{ g/cm}^3$, sin embargo, Castillo, (2006) y Trigueiro y Guerrini, (2003), con densidades aparentes similares a las aquí obtenidas, obtuvieron plántulas de *Eucalyptus grandis* de buena calidad.

La porosidad es de vital importancia dentro de las características del sustrato, pues de ella depende la retención del agua (microporos) y la aireación (macroporos), lo cual tiene una influencia directa en el desarrollo del sistema radical y de la planta en su conjunto.

En el Gráfico 3.3 se muestran los cambios que se producen en la porosidad total al aumentar los contenidos de compost obtenidos, donde se observa la disminución de esta propiedad física, con el aumento de los cantidades de compost en los sustratos, obteniéndose diferencias significativas entre todos ellos. Siempre los mayores valores de porosidad corresponden a los sustratos formados por compost de corteza sin extraer.

La disminución la porosidad con la adición de compost, también fue observado por Guerrero *et al.* (2002).

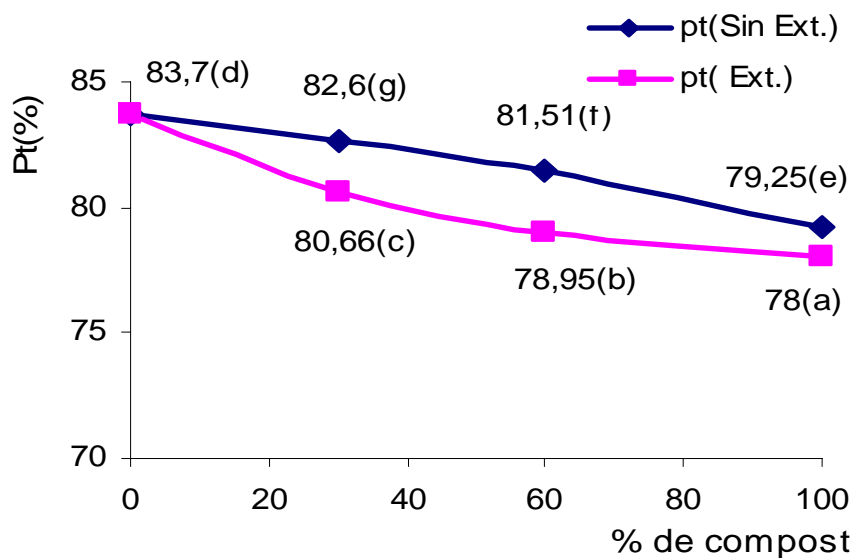


Gráfico 3.3. Variación de la porosidad total con los contenidos de compost obtenidos. Letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$. Prueba de comparación de medias de Duncan

Abad *et al.* 2004, sugiere niveles óptimos de porosidad mayores que un 85%, los valores obtenidos son algo menores. Montoya y Cámara, (1996) recomienda un rango de porosidad entre 60–80%, Castillo, (2006) obtiene plántulas de *Eucalyptus grandis* de buena calidad con valores de porosidad que oscilan entre un 50 y un 70 %, Trigueiro y Guerreni, (2003), estudia el crecimiento y desarrollo de plántulas de eucalipto haciendo uso de sustratos con una porosidad total entre un 64.79 y un 74.03%.

3.3.3. Distribución de tamaño de partícula.

Las propiedades físicas dependen en gran medida de la distribución de tamaño de partícula, por lo que modificando o seleccionando adecuadamente dicha distribución de tamaño de partícula pueden conseguirse unas propiedades óptimas.

Para Abad *et al.* (2004) rango óptimo de tamaño de partícula es de 0,25-2,5 mm, en casi la totalidad de los sustratos estudiados más del 90% de las partículas que lo conforman están dentro del rango óptimo planteado por este autor.

Tabla 3.7. Distribución de tamaño de partícula para los diferentes sustratos estudiados

Sustratos	Tamaño de las partículas (%)		
	<0.2 mm	2-0,2 mm	>2 mm
CS	2.076±0.48a	92.57±1.58abc	1.35±1.10b
6S	3.67±0.75ab	94.32±1.15bc	2.01±0.40ab
3S	3.28±1.41ab	95.25±2.80c	1.47±0.27ab
CE	5.34±0.53c	90.88±2.75ab	3.78±3.49ab
6E	2.96±0.53c	91.25±1.62ab	2.79±2.39ab
3E	4.34±0.79c	92.60±2.17abc	1.06±3.29ab
TP	9.36±1.06c	89.46±2.35a	1.18±1.16a
Std. Dev.	2.33	2.54	2.21

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.

Prueba de comparación de medias de Duncan

3.3.4. Germinación

A partir de los 4 días de la siembra comienza el proceso de germinación, con un periodo de duración de entre 4 y 12 días. Meskimen y Francis, (1990), citado por Castillo, (2006) plantean que la germinación del eucalipto rosado tiene lugar entre 7 y 14 días después de la siembra, resultados semejantes también los obtiene, Castillo, (2006), con el *Eucalyptus grandis*.

En el Gráfico 3.4 se observa, que para todos los tiempos estudiados, el que presenta mayor % de germinación es el sustrato elaborado con un 100% de compost de corteza sin extraer, este resultado puede estar muy relacionado a las propiedades físicas que posee este sustrato.

El % de germinación más bajo es para el sustrato confeccionado con turba y paja de arroz. Castillo, (2006), en su estudio sobre los efectos de diferentes sustratos y del endurecimiento por riego en la calidad de las plantas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en contenedores en Pinar del Río, Cuba, también obtuvo bajos rendimientos en este tipo de sustrato constituido por turba y paja de arroz.

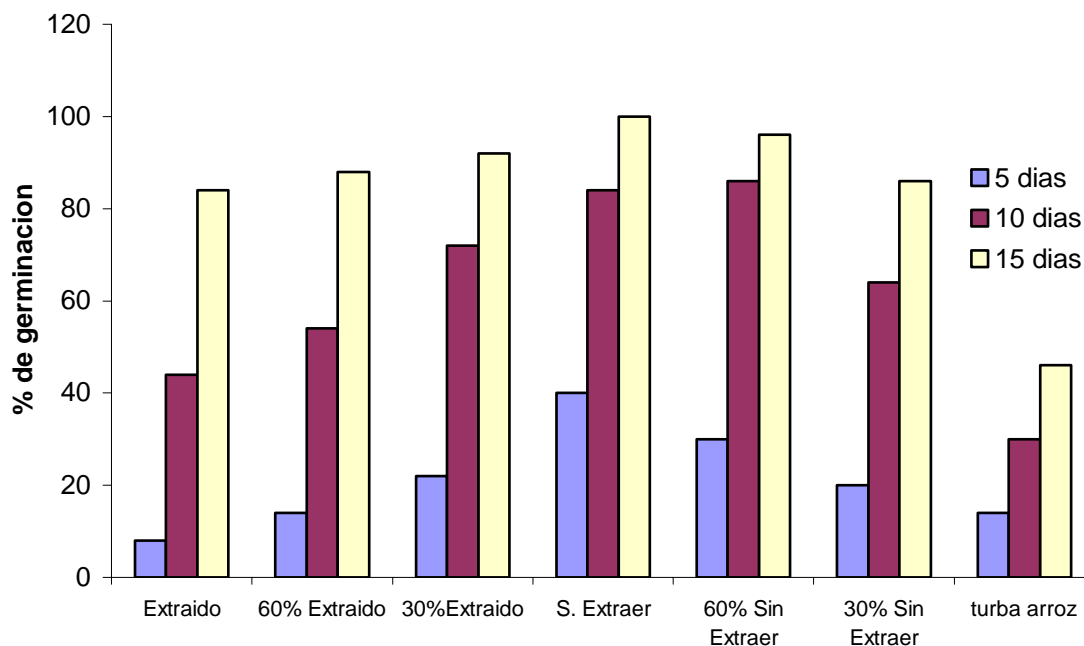


Gráfico 3.4. Germinación de plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith en los diferentes sustratos estudiados

El sustrato elaborado con 100% de compost de corteza extraído después del sustrato confeccionado con turba y paja de arroz es el que mas bajo % de germinación presenta, por los altos niveles de conductividad. En la medida que disminuyen los contenidos de este compost en los sustratos vemos que disminuye la conductividad y aumenta la tasa de germinación.

Ansorena, (1994), comprobó que la conductividad ejerce una gran influencia en la germinación de la semilla de *Lolium multiflorum*. Este autor utilizó turbas con altos niveles de salinidad, y la germinación no se inició hasta el décimo día, en que la conductividad se redujo por el lavado a valores normales. A medida que disminuye la conductividad aumenta el % de germinación de la semilla, que no llega a sobre pasar el 30%.

En los sustratos confeccionados con compost de corteza sin extraer, poseen valores de conductividad dentro del rango recomendado y aumenta la tasa de germinación con el aumento de los contenidos de compost.

La tasa de germinación, además de ser un indicador de fitotoxicidad vegetal potencial, es una variable muy importante desde un punto de vista de la gestión viverística. Una mala germinación de semillas puede suponer un gasto

económico importante, además de una complicación logística, especialmente si se trata de una especie cuyas semillas, presentan ciertas limitaciones con su gestión. (Mtnez-Almela *et al.* 2004).

3.3.5. Análisis de los atributos morfológicos Altura, diámetro, y área foliar.

La altura es un indicador del grado de desarrollo de la parte aérea, por lo que presenta fuertes correlaciones con el número de hojas y con la superficie foliar, que determinan en los procesos fotosintéticos y de transpiración. Pineda-Ojeda *et al.*, (2004), plantean que plantas grandes, mejoran la constitución morfológica y mayor supervivencia y crecimiento en campo.

En la Tabla 3.8 se muestran los parámetros morfológicos, altura media, diámetro y área foliar para cada uno de los tratamientos analizados. Se aprecia que los mayores valores de altura son para el sustrato 3E y para 6S respectivamente.

Tabla 3.8. Altura media, diámetro y área foliar de plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith a los 90 días en los diferentes sustratos obtenidos.

Sustratos	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Área foliar (cm ²)
CE	17.65±1.10a	1.7±0.02b	52.64±0.02
6E	22.00±1.69b	2.64±0.10a	73.34±0.09
3E	24.50±3.93b	2.82±0.17a	76.76±0.10
CS	20.11±1.66ab	1.50±0.38b	50.25±0.20
6S	24.20±2.73b	2.66±0.47a	77.58±0.21
3S	22.90±3.26b	1.84±0.10b	52.53±0.11
Std. Dev.	3.50	0.58	0.35

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$. Prueba de comparación de medias de Duncan

En los tratamientos estudiados los menores valores que toman estos atributos son para las plántulas desarrolladas en los sustratos elaborados con 100% de compost, los cuales tienen un pH elevado, fuera del rango óptimo recomendado, lo que influye en la asimilabilidad de los nutrientes y como consecuencia poco desarrollo aéreo.

A pesar de lo antes expuesto las diferencias que existe entre las plántulas desarrolladas en los diferentes sustratos en cuanto a la variable altura son pocas, se encuentran bastantes relacionadas unas con otras

La norma general es la utilización de plantas con altura comprendida entre 15 y 25 cm y un calibre (diámetro en cuello de la raíz) mínimo de 2 mm. En relación a la altura de plantas en vivero, Buresti y Mori, (2003), consideran que plantas de buena calidad, de especies latifolias, deben alcanzar una altura de 20–60 cm.

En la Tabla 3.8, se observa que los diámetros mayores se corresponden con las plántulas obtenidas en los sustratos 6E, 3E y 6S entre los que no existen diferencias significativas.

Los menores diámetros, coincide con las menores alturas y las menores áreas foliares, las plántulas obtenidas en los sustratos CS y CE, los cuales poseen un pH moderadamente alcalino, y no presentan diferencias significativas con el diámetro de las plántulas que crecen el sustrato 3S.

Las plántulas que presentan mayores áreas foliares son las desarrolladas en los sustratos 6E y 6S y las menores son las de los sustratos CE y CS.

Autores como, Sánchez – Monedero *et al.*, (2004), Castillo, (2004), Manzuela *et al.* (2005), Clark y Cavigelli, (2005), Topcuogla *et al.* (2005), Moldes *et al.* (2006), entre otros, recomiendan el uso del compost como constituyente medio, teniendo en cuenta las posibles limitaciones en las propiedades físicas y fisicoquímicas de los compost.

Atributos morfológicos semejantes a los aquí obtenidos, Trigueiro y Guerrini, (2003), lo obtuvieron a los 120 días, en plántulas de *Eucalyptus grandis* haciendo uso de diferentes concentraciones de un biosólido en contenedores de 50 cm³. Castillo, (2006), en su estudio sobre el efecto de diferentes sustratos y del endurecimiento por riego en la calidad de las plantas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en contenedores de 100 cm³, obtuvo alturas 20.03 cm, diámetros de 1,98 mm y áreas foliares de 70 cm² a los 60 días, haciendo uso de mezclas de sustratos orgánicos. Otros autores como Caldeira *et al* (2000) obtuvieron menores valores de estos parámetros morfológicos en

sus estudios sobre el crecimiento de plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith en función de diferentes dosis de vermicompost.

La mala germinación, mostrada en el Gráfico 3,4 y posteriormente el pésimo desarrollo y crecimiento de las plántulas desarrolladas en el sustrato confeccionado con turba y paja de arroz, hizo que desecháramos ese tratamiento. Castillo, (2006), obtuvo similares resultados con este sustrato y se los atribuye a que el mismo no posee propiedades químicas óptimas para adecuado desarrollo de las plántulas.

3.3.6. Dinámica del crecimiento en altura

En el Gráfico 3.5 se observa la dinámica de crecimiento en altura, para plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith en los diferentes sustratos estudiados.

En el mismo se observa la presencia de tres fases:

1. **Fase de establecimiento**, con un tiempo de duración, cerca de los 40 días después de la siembra.
2. **Fase de crecimiento rápido**, con una duración de 40 días aproximadamente, posterior a la fase de establecimiento.
3. **Fase endurecimiento**, comienza a los 80 días aproximadamente después de la siembra.

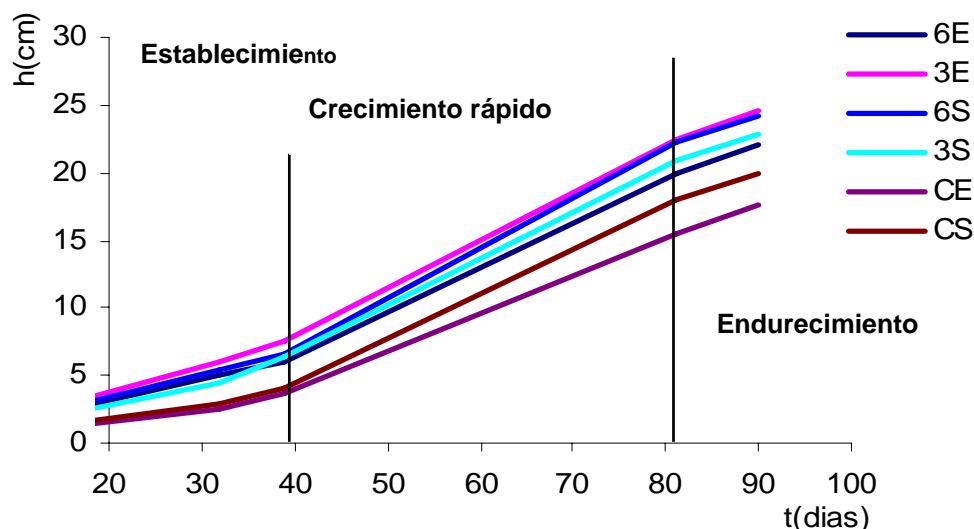


Gráfico. 3.5. Esquema de las fases de crecimiento obtenido para plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith en los sustratos estudiados.

La duración tan prologada de la fase de crecimiento rápido esta muy vinculada con las características químicas del sustrato, sobre todo por los altos contenidos de nitrógeno que presentan, que permiten alargar la estancia de las plántulas en volúmenes tan pequeños de sustratos como es la de los contenedores.

La fase de endurecimiento no debe exceder los 2,5 meses, ya que la duración del periodo de endurecimiento no incrementa más la capacidad de ajuste osmótico, Villar *et al.* (1997b), citado por Oliet, (2001).

Gómez *et al.* (2002) estudia la calidad de los parámetros morfológicos para la evaluación de plántulas de *Eucalyptus grandis* con diferentes volúmenes tubetes y demuestra que a los 90 días las plántulas comienzan a disminuir su crecimiento, incrementan el crecimiento diamétrico, y la producción de materia seca, promoviendo un mayor endurecimiento.

3.3.7. Modelos matemáticos utilizados para la descripción del incremento en altura de los diferentes sustratos.

La utilización de modelos matemáticos para la descripción del comportamiento de diferentes parámetros de la plántula durante su desarrollo en el vivero resulta de utilidad para predecir el tiempo en que esta alcanza el momento óptimo para la plantación.

Tabla 3.9. Parámetros de las ecuaciones de regresión de dinámica de crecimiento en plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith en diferentes sustratos

Sustratos	R ²	a	b	c
6E	0.9875	0.0013	0.141	0.5863
3E	0.9815	0.0013	0.1739	0.7029
6S	0.9784	0.014	0.1650	0.8558
3S	0.9896	0.0019	0.1076	0.5318
CE	0.9965	0.0023	-0.0032	0.1033
CS	0.9736	0.0027	0.0046	0.3463

Se probaron diferentes modelos de crecimiento, llegándose finalmente a establecer una ecuación cuadrática del tipo: $y = at^2 + bt + c$.

El grado de significación fue menor de 0,05% en todos los casos, encontrándose los valores del coeficiente de determinación (R^2) entre 0,9736 y 0,9965. El resultado de las constantes a , b , c en función del tiempo se refleja en la Tabla 3.9.

3.3.8. Parámetros morfológicos de la planta: Masa seca total, masa seca aérea y masa seca radical.

Los parámetros morfológicos de la planta, tales como masa seca total, masa seca aérea y masa seca radical se analizan a partir de los resultados que se muestran en la Tabla 3.10.

Los mayores valores obtenidos de masa seca total son para las plántulas obtenidas en los sustratos 6E y 6S, coinciden que son las plantas que alcanzan una mayor área foliar y un mejor desarrollo de su sistema radical, lo cual esta muy favorecido por las buenas propiedades físicas y químicas de estos sustratos. Entre ellos no existe diferencias significativas, aunque los valores de la masa seca total de las plántulas desarrolladas en los sustratos 6S no presentan diferencias significativas con los sustratos 3S y 3E.

Tabla 3.10. Parámetros morfológicos de plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith a los 90 días en diferentes sustratos.

Sustrato	m(raíz)	m(parte aérea)	m(hojas)	m(tallo)	m(seca total)
(g)					
CE	0.22±0.03a	0.35±0.04a	0.26±0.03a	0.09±0.006a	0.57±0.04a
6E	0.53±0.18b	0.82±0.27c	0.59±0.10d	0.23±0.03b	1.41±0.12d
3E	0.24±0.06a	0.75±0.10c	0.33±0.04cd	0.22±0.07b	1.05±0.15bc
CS	0.19±0.02a	0.25±0.02a	0.17±0.01a	0.08±0.01a	0.45±0.03a
6S	0.53±0.07b	0.74±0.09c	0.47±0.06bc	0.27±0.04b	1.32±0.11cd
3S	0.29±0.17a	0.57±0.08b	0.38±0.006b	0.19±0.02c	0.89±0.20b
Std. Dev.	0.21	0.22	0.15	0.06	0.40

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$. Prueba de comparación de medias de Duncan

Los menores valores de masa seca total son obtenidos en las plántulas que evolucionan en los sustratos CE y CS (100% compost), entre ellos no existen diferencias significativas y pero si ellos con todos los demás.

Caldeira, *et al.* (2000) obtuvieron los mayores valores de masa seca total (0.43 g) en las plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith desarrolladas en los sustratos con mayor contenido de vermicompost. Castillo, (2006), obtuvo valores de masa seca entre 0.41 y 0.67g en plántulas de *Eucalyptus grandis* a los 60 días.

3.3.9. Análisis de los atributos morfológicos del sistema radical.

En la Tabla 3.11 se muestra los atributos morfológicos del sistema radical, como la longitud de la raíz, cantidad de raíces gruesas y finas y peso total de la raíz.

El largo de la raíz esta estrechamente asociado con el tamaño del contenedor, por lo que es posible variar el tamaño de la raíz variando el tamaño del contenedor.

El contenido de raíces finas con relación al contenido de raíces gruesas es alto, para todos los sustratos (entre un 76.70 y 91.18%). Los mayores contenidos de raíces finas son para los sustratos confeccionados a partir del compost de corteza sin extraer, muy relacionado con las propiedades físicas de estos sustratos. Estos altos contenidos de raíces finas pueden garantizar altas tasa de supervivencias en plantación, ya que la alta densidad de raíces finas aumenta el contacto con el agua, provocando el aumento de la absorción de nutrientes, (Freitas *et al.* 2006), debido a que las raíces finas son las estructuras principales responsables de la adquisición de agua y nutrientes. Según Baker *et al.* (2001), su densidad en el suelo determinaría la capacidad de las plantas para tomar aquellos elementos necesarios para sostener su crecimiento.

En esta investigación no se aplicaron fertilizantes químicos, teniendo en cuenta que los sustratos utilizados presentan en general buenas propiedades químicas y físicas destacándose la porosidad, que tiene una influencia directa en el desarrollo del sistema radical pues sustratos con una porosidad balanceada

(macro y microporos) permiten buena humedad y aireación y por tanto conducen a la formación de una adecuada arquitectura radical.

Tabla 3.11. Atributos morfológicos del sistema radical de plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith a los 90 días en diferentes sustratos.

Sustratos	Long. de las raíces (cm)	Volumen de las raíces (ml)	Raíces finas (%)	Raíces gruesas (%)	m(raíz) (g)
CE	11.00±1.13a	1.25±0.28a	79.08±5.85ab	20.92±5.85ab	0.22±0.03a
6E	13.04±0.64b	4.50±0.36c	83.72±1.38ab	16.28±1.38ab	0.53±0.18b
3E	11.31±0.5a	2.80±0.38b	86.56±2.51ab	13.44±2.51ab	0.24±0.06a
CS	12.25±1.13b	1.10±0.11a	76.70±4.94a	24.30±4.94b	0.19±0.02a
6S	10.64±0.51a	5.10±1.09c	91.52±1.59b	8.48±1.59a	0.53±0.07b
3S	11.1±1.02a	3.00±1.03b	89.51±5.42ab	10.49±5.42ab	0.29±0.17a
Std. Dev.	1.22	1.62	9.63	9.63	0.21

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$. Prueba de comparación de medias de Duncan.

La fertilización incide también en la fibrosidad de las raíces; un exceso de nutrientes puede disminuirla, ya que la deficiencia de nutrientes conduce a la planta a concentrar su masa radical en unas pocas raíces secundarias y una potente raíz principal (Fisher *et al*, (1984) citados por Oliet, (2000)).

Los mayores valores de masa seca de la raíz son, para los sustratos (6S, 6E). Trigueiro y Guerrini, (2003), llegan a obtener valores de masa seca de las raíces en plántulas de *Eucalyptus grandis* obtenidas en contenedores a los 90 días entre 0.29 y 0.52 g. Castillo, (2006), obtiene valores un poco mas bajo en plántulas de *Eucalyptus grandis* obtenidas en contenedores a los 60 días. También Caldeira *et al*. (2000) obtienen valores de masa seca de la raíz menores para plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith.

Las plántulas que mayores volúmenes de raíces presentan son las desarrolladas también en los sustratos 6E y 6S, entre ellas no existen diferencias significativas. Estas plántulas serian las que mayores potenciales de crecimiento radicular, capacidad de absorción de agua y nutrientes presentan y entonces las mas capaces de superar el shock de trasplante,

según plantea Alzugaray *et al.* (2004), en su estudio del efecto del volumen radicular y la tasa de fertilización sobre el comportamiento en terreno de plantas de pino oregón; el cual demostró que plantas con mayores volúmenes radiculares en el momento de la plantación, presentaron las más altas tasas de supervivencia y crecimiento en altura y diámetro.

Las que presentaron menores volúmenes son las que se desarrollaron en los sustratos CE y CS (100% compost), sin diferencias significativas entre ellos, en correspondencia con sus masas secas de raíces.

3.3.10. Arquitectura radical

Uno de los parámetros que caracteriza al sistema radical de las plantas es la Arquitectura radical.

Se observa (Figura 3.5) que el modelo *óptimo* presenta una buena distribución del sistema radical en el sustrato, con raíces de primer orden adecuadas y una buena densidad de raíces de segundo y tercer orden. El modelo *aceptable*, similar al anterior pero con un desarrollo inferior de las raíces de segundo y tercer orden. El modelo *malo* presenta un buen desarrollo de raíces de primer orden, pero con baja densidad de raíces de segundo y tercer orden o también puede presentar de forma generalizada un escaso desarrollo radical. El envase utilizado en este estudio que es de sección cuadrangular y con costillas longitudinales, la formación de raíces reviradas es más difícil. Sin embargo, se observó que las raíces principales descienden pegadas a las paredes del envase, concentrándose en el fondo de los mismos en las zonas de crecimiento de las raíces. Esto coincide con lo planteado por Villar *et al.* (2001a), en estudios realizado en *Pinus pinea* y por Castillo, (2006), en plántulas de *Eucalyptus grandis*.

En la Tabla 3.12 se analiza la arquitectura radical de los diferentes sustratos estudiados. Las plántulas que crecen y se desarrollan en el sustrato 6S son las que mejores arquitecturas radicales presentan, ya que todas las muestras analizadas presentaban niveles óptimos, seguidas por las que evolucionan en el sustrato 6E. Entre ellas no se observan diferencias significativas. (Ver Figura 3.7)

Tabla 3.12. Comportamiento de los diferentes sustratos por niveles en la arquitectura radical.

Sustratos	Sig.	Niveles		
		Óptimo	Aceptable	Malo
CE	1.47	2	3	10
6E	2.7	11	4	0
3E	1.80	3	6	6
CS	1.49	1	4	10
6S	3	15	0	0
3S	1.81	3	6	6
St. Dev	0.87			

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

El consumo de nutrientes por parte de la plantas depende de la habilidad de las raíces para absorberlos, de la capacidad del sustrato para suministrarlo y de la accesibilidad de los mismos, lo que está determinado por el tamaño y la configuración del sistema radical (Ramírez y Rodríguez, 2004).



Figura 3.7. Sistema radical de plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith desarrolladas en el sustrato 6S

3.3.11. Índices morfológicos

En la Tabla 3.13 se muestran los resultados del análisis estadístico que incluyen los índices morfológicos: Esbeltez, Relación parte aérea/parte radical (PA/PR), Índice Dickson (QI) y Balance hídrico de la planta (BAP).

La Esbeltez establece una relación entre la altura de la planta y su diámetro en el cuello de la raíz. Una menor relación en este parámetro se asocia con plantas más robustas y por tanto potencialmente más resistentes al estrés provocado por el trasplante. Las plantas más robustas son las del sustrato 6E, 3E y 6S. Índices de esbeltez semejantes a los obtenidos con estos sustratos, fueron encontrados por Trigueiro y Guerrini, (2003).

La relación parte aérea/parte radical (PA/PR) proporciona una información importante en relación con las posibilidades de la planta de desarrollarse en sitios secos. Las plántulas desarrolladas en el sustrato 3E, como del 3S (ambas con los mismos contenidos de compost), posee los más altos contenidos de la relación parte aérea/parte radical y alejado además de los valores recomendados por Quiroz, *et al.* 2001, (1.5), por los bajos valores de pesos seco de las raíces. Los valores que posee este índice en las plántulas que crecen en estos sustratos no presentan diferencias significativas.

Tabla 3.13. Índices morfológicos de plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith a los 90 días en diferentes sustratos.

Sustratos	Esbeltez	PA/PR	QI	BAP	ITR
CE	10.38±0.01a	1.62±0.03ab	0.05±0.003a	0.95±0.01bc	0.41±0.02a
6E	8.15±2.11a	1.35±0.23ab	0.12±0.4c	0.43±0.20a	0.43±0.09ab
3E	8.66±1.14a	2.58±0.42c	0.09±0.013bc	0.92±0.49bc	0.91±0.13c
CS	10.41±0.01b	1.31±0.03a	0.03±0.003a	0.87±0.01abc	0.28±0.06a
6S	9.42±2.10a	1.29±0.23a	0.12±0.03c	0.49±0.19ab	0.51±0.12b
3S	13.17±1.81b	2.12±0.79bc	0.06±0.03ab	1.24±0.49c	0.57±0.11bc
Std. Dev.	2.51	0.68	0.05	0.41	0.27

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$. Prueba de comparación de medias de Duncan

Algunos autores recomiendan valores cercanos a 1,5 especialmente en zonas difíciles ya que se considera que mientras más estrecha es la relación (cercana a la unidad) mayor es la posibilidad de sobrevivencia en sitios secos (Quiroz *et al.* 2001).

El índice de calidad de Dickson (QI) integra los aspectos de masa total de la planta, Esbeltez (diámetro del cuello de la raíz y altura de la planta) y el peso seco del raíz, con el objetivo de explicar la potencialidad de las plantas tanto para sobrevivir, como de crecer, Oliet, (2000). Dickson *et al.* 1960 citado por Olivo y Buduba, (2006) en su estudio sobre la influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo, plantea que mientras mayor es el índice de calidad de Dickson mayor es la calidad de la plántula.

Los mayores valores de índice de calidad de Dickson son para las plantas desarrolladas en los sustratos 6E, 6S, sin diferencias significativas, ellas son las que presentan mayores valores de masa seca total. Los menores valores reportados aquí son para los sustratos formados por 100% compost (CE, CS), entre ellas no existen diferencias significativas, ya que las plántulas desarrolladas en estos sustratos son las que presentan menor desarrollo aéreo muy relacionado con su pH moderadamente alcalino.

Castillo, (2006), obtuvo valores de este índice menores (0.015 y 0.057) para el *Eucalyptus grandis* producido en contenedores.

Otros autores como Malavasi y Malavasi, (2006) y Olivo y Buduba *et al.* (2006), demuestran la calidad de sus plántulas a través de este índice.

El balance hídrico en la planta (BAP), según Grossonickle y Major, (1991), citado por Oliet, (2000) puede venir expresado en términos de masa aérea y radical, en el que interviene también el diámetro del cuello de la raíz, como indicador del desarrollo total de la planta.

En la Tabla 3.13 se observa que los menores valores de balance hídrico de la planta (BAP), son para los sustratos 6E y 6S, por la relación inversa que tiene este índice con el peso seco total de las raíces, ambos son los que mayores masas de raíces secas presentan.

Castillo, (2006), obtuvo valores balance hídrico de la planta, entre 0.8 y 2.75 en la evaluación de la calidad de plántula de *Eucalyptus grandis* en 13 sustratos en tubetes de 100 cm³, sus valores algo mayores que los aquí presentados.

Según Grossnickle y Major, (1991), citado por Castillo, (2006), plantea que este índice tiene un alto valor de predicción del potencial de evitación de la sequía en condiciones en que la absorción de agua por las raíces está dominada por la demanda.

Iverson, (1984), citado por Olivo *et al.* (2006), señala que el valor del índice tallo raíz varía con la especie.

3.3.12. Resultados de las variables destubetado y estabilidad del sustrato.

El destubetado es una variable que guarda estrecha relación con la arquitectura radical y las propiedades físicas y químicas de los sustratos según Castillo, (2006).

En general a los 90 días, las características del destubetado, para todos los casos son óptimas. Este resultado se justifica por las características físicas y química propias de estos sustratos, que posibilitan una buena colonización del sistema radical y una buena estabilidad estructural del sustrato, facilitando que la resistencia al destubetado sea menor.

La estabilidad viene dada por la resistencia que oponen los agregados a toda acción que tienda a modificar sus formas y sus dimensiones o a destruirlo, como es la influencia desintegrante del agua y de la manipulación mecánica (Cairo y Fundora, 2002).

A los 90 días la estabilidad del cepellón de la planta al producirse el destubetado para todos los tratamientos estudiados era óptima.

Todos los tratamientos tienen el contenido de calcio adecuado, elemento que incrementa la cohesión debida a sus propiedades cementantes, conduciendo por tanto a un incremento en la estabilidad del cepellón.

La estabilidad del sustrato, también esta, muy asociada con la arquitectura del sistema radical, fundamentalmente con la colonización de las raíces finas, lo cual evita la ruptura del cepellón. Un menor grado de desarrollo del sistema

radical puede disminuir la estabilidad estructural, Domínguez *et al.* (2000), citada por Castillo, (2006).

Las variables arquitectura radical, estabilidad del sustrato y destubetado están estrechamente relacionadas entre si, las mismas se deben tener en cuenta al estudiar los sustratos, pues del buen comportamiento de ellas depende en gran medida el éxito de la plantación.

3.3.13. Potencial hídrico de madrugada y al mediodía

En el Gráfico 3.6. se muestra la influencia de los diferentes sustratos formados en el potencial hídrico de madrugada y al mediodía en plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith a los 90 días.

Los potenciales hídricos de madrugada, son ligeramente mas negativo en los sustratos confeccionados con corteza sin extraer que en los sustratos elaborados con compost de corteza extraída. Estadísticamente se demostró que entre ellos no existían diferencias significativas.

Los potenciales hídricos del mediodía son más negativos en todos los sustratos estudiados.

Las mayores diferencias entre el potencial hídrico de madrugada y el del mediodía es para las plántulas desarrolladas en los sustratos elaborados con un 100% de compost, Este hecho es posible por los valores de conductividad que presentan estos sustratos. Este aumento de la conductividad provoca aumento de la tención osmótica. Según Ansorena, (1994) un aumento excesivo de la tensión osmótica puede provocar en la planta un déficit hídrico, semejante al que producen en condiciones de sequía. Otro aspecto a considerar es que estas plántulas son las que menos desarrolladas tienen el sistema radical. Alzugaray *et al.* (2004), plantea que una de las garantías más efectivas contra el daño por sequía en la vegetación natural o en los cultivos, es un sistema radical extenso.

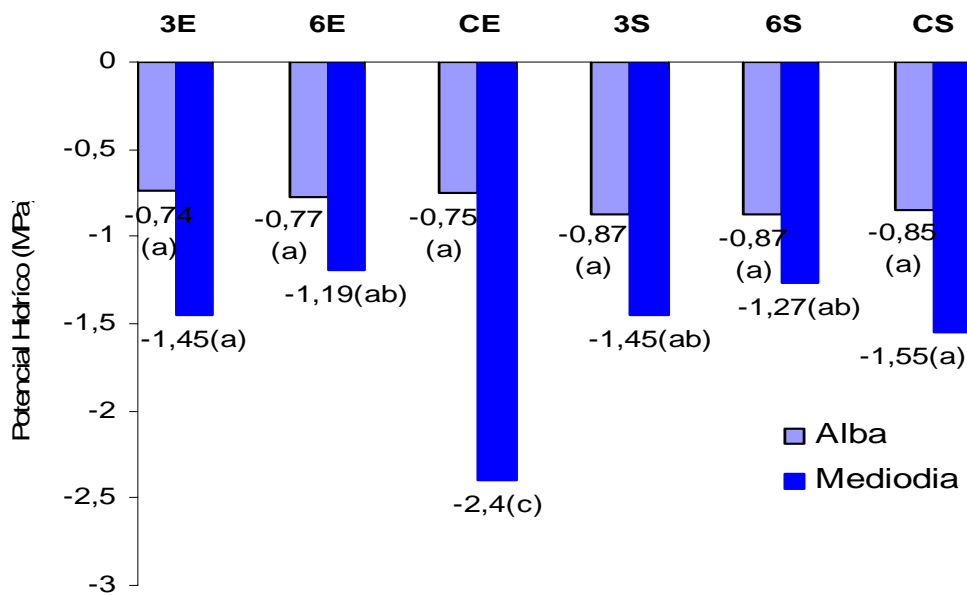


Gráfico. 3.6 Potencial hídrico de madrugada y al mediodía en plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith a los 90 días en los diferentes sustratos obtenidos.

Esta diferencia de potenciales hídrico entre el alba y el mediodía planteadas anteriormente, da una idea del estrés que sufren estas plantas en el postransplante, ya que solo las especies más adaptadas a restricciones de agua son capaces de mantener potenciales muy negativos, mientras que al contrario, las especies con menos facilidad de adaptación a la sequía no tienen el mismo control que las anteriores y no consiguen evitar las pérdidas de agua disminuyendo los valores de potencial hídrico al mediodía, (Escarré, 2003).

Entonces las plántulas desarrolladas en los sustratos 6E y 6S, las que presentan menores diferencias de potencial hídrico entre el alba y el mediodía, se encuentran más favorecidas para enfrentar condiciones adversas en el postransplante, pues la misma crea mecanismos (caída de las hojas, cierre de los estomas, cutículas más gruesas, etc.) que le permiten mantener un nivel del agua dentro de sus células, (Castillo, 2006).

3.3.14. Transpiración cuticular

En el Gráfico 3.7 se observa los diferentes valores de transpiración cuticular que toman las plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith a los 90 días en los diferentes sustratos obtenidos. En el mismo se observa que las plántulas que menor tasa de pérdida de agua tienen, son las que crecen en los sustratos, 6E

y 6S, siendo estas las que presentan menores diferencias entre el potencial hídrico del alba y el del mediodía. Ellas no presentan diferencias significativas con las plántulas que evolucionan en los sustratos 3E y 3S.

Las mayores tasas de pérdidas de agua, son para las plántulas obtenidas en los sustratos elaborados con 100% compost (CE y CS), con las mayores diferencias entre el potencial hídrico del alba y el del mediodía.

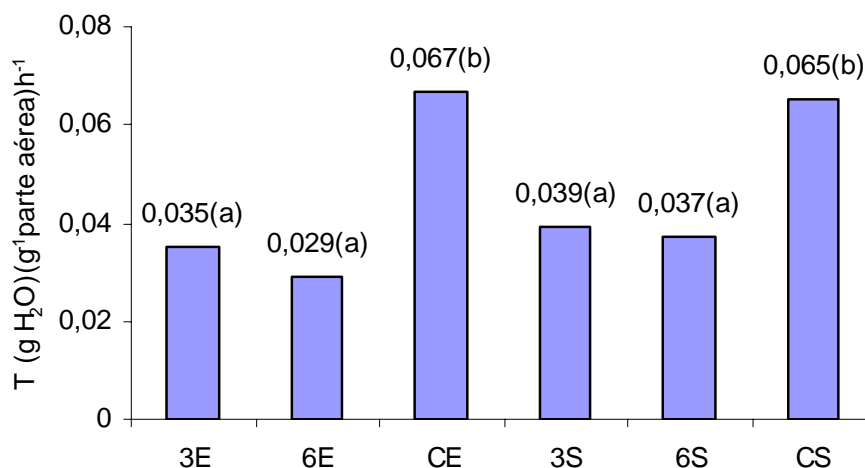


Gráfico. 3.7 Transpiración cuticular en plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith a los 90 días en los diferentes sustratos obtenidos.

Una reducción de la transpiración cuticular puede incrementar las posibilidades de supervivencia de las plantas ante situaciones de fuerte estrés hídrico, como las que a menudo se dan durante las fase post-transplante ya que, ante un completo cierre de los estomas, los individuos de menor transpiración cuticular serán capaces de mantener sus reservas hídricas durante un mayor tiempo (Parra *et al.* 2002).

3.3.15. Análisis de correlación

El análisis de correlación (Correlación de Pearson) (Anexo 9) mostró una correlación significativa entre el índice de calidad de Dickson y las variables diámetro, masa de las hojas, masa seca total de la plántula, masa seca aérea, masa seca total de la raíz, masa de las raíces finas

Partiendo de los resultados anteriores, se realizó un análisis de regresión con el diámetro del cuello de la raíz y la masa seca de la plántula, ambas con el índice de calidad de Dickson.

En la Gráfico 3.8 se muestra la relación entre el diámetro del cuello de la raíz de la plántula y el Índice de calidad de Dickson, la cual es lineal y creciente con un coeficiente de regresión de 0,7221.

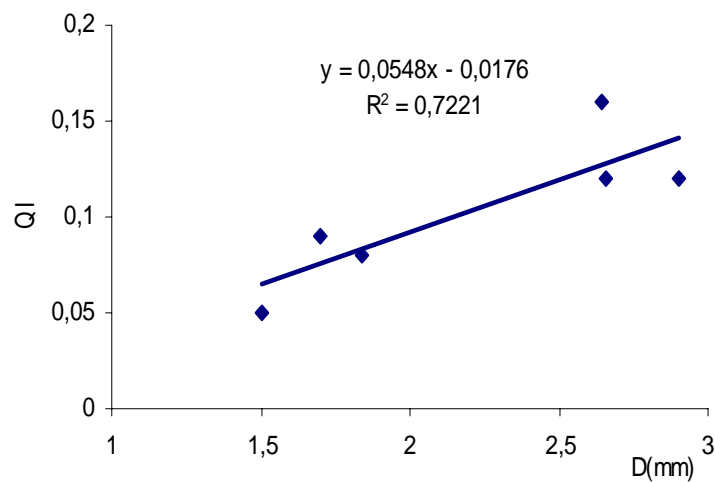


Gráfico.3.8 Relación entre el Diámetro en el cuello de la raíz y el Índice de calidad de Dickson (QI).

En el Gráfico 3.9 se muestra la relación entre la masa seca de las plántulas obtenidas en los diferentes sustratos, con el índice de calidad de Dickson, igualmente lineal y creciente, pero con un alto valor de regresión ($R^2=0.9616$)

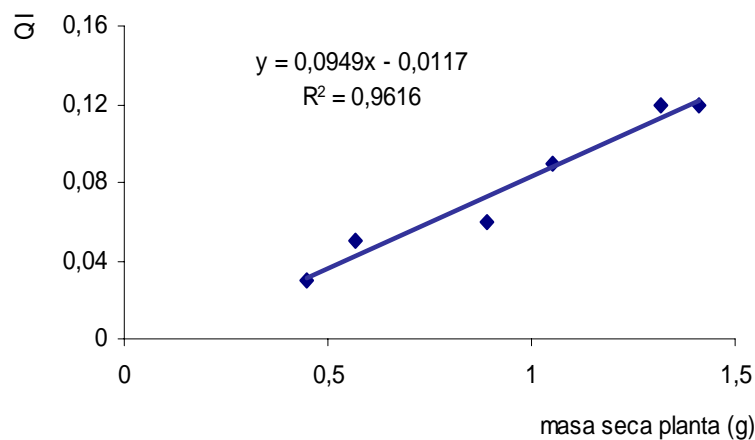


Gráfico.3.9 Relación entre la masa seca de la plántula y el Índice de calidad de Dickson (QI).

3.3.16. Estado nutritivo de las plantas de *Eucalyptus saligna* Smith.

La composición mineral foliar es un elemento muy importante para relacionar el contenido de nutrientes en las plantas con la composición mineral del sustrato.

.En la Tabla 3. 14 se presentan los resultados de las concentraciones de los macro-nutrientes en una muestra de hojas, de cada uno de los sustratos estudiados.

Tabla 3.14. Análisis foliar en plántulas de *Eucalyptus saligna* Smith a los 90 días en los diferentes sustratos obtenidos.

Sustratos	N	P	K (%)	Ca	Mg
CS	1.5±0.12a	0.14±0.03a	0.63±0.12a	1.20±0.10d	0.3±0.10a
6S	1,69±0.10b	0,17±0.03a	0,90±0.09bc	0,58±0.09ab	0,45±0.08b
3S	1,62±0.08ab	0,16±0.01a	0,83±0.09b	0,94±0.06c	0,43±0.08b
CE	1.46±0.06a	0.16±0.05a	0.89±0.07bc	0.70±0.08b	0.36±0.06ab
6E	2,30±0.09c	0,18±0.04a	1,04±0.09c	0,54±0.05a	0,44±0.04b
3E	1,52±0.13a	0,17±0.07a	0,97±0.08bc	0,68±0.1ab	0,35±0.08b
Std. Dev.	0.30	0.036	0.15	0.25	0.081

En una misma columna letras desiguales difieren significativamente para $p < 0,05$.
Prueba de comparación de medias de Duncan

Landis *et al.* (2000) asigna estándares de niveles nutricionales foliares, y proporciones nutricionales para especies forestales producidas en contenedores en %:

- Nitrógeno: 1.40-2.20
- Fósforo: 0.20-0.40
- Potasio: 0.40-1.50
- Calcio: 0.20-0.40
- Magnesio: 0.10-0.30

Según estos estándares de niveles nutricionales. Para todos los sustratos los contenidos de nitrógenos y de potasio están dentro de los rangos sugeridos. Los valores mas altos de nitrógeno son para las plántulas que crecen en los

sustratos 6E, presentando diferencias significativas con los demás plántulas que crecen en el resto de los sustratos.

Para el potasio las plántulas que evolucionan en el sustrato 6E le corresponden los mayores valores aunque las mismas no presentan diferencias significativas con los valores reportados de potasio en las plántulas que crecen en los sustratos 3E, 6S y CE.

Los niveles de calcio y magnesio son altos.

Los contenidos de fósforos no presenta diferencias significativas, están un poco por debajo a los recomendados por Landis *et al.* (2000). El pH de los sustratos donde se desarrollaron las plantas (5.6-8.1), un poco por encima del óptimo recomendado, debe haber influido en la absorción del fósforo. El pH afecta la solubilidad del fósforo, que será tanto mayor, cuanto menor sea el valor del pH.

3.3.17. Análisis de Cluster

En la Figura 3.8 se muestra el análisis de cluster realizado con los parámetros obtenidos en las plántulas desarrolladas en los sustratos estudiados. Se observa un subgrupo formado por las plántulas que crecen en los sustratos 6E, 6S y 3E, (2, 3 y 6) en los cuales las variables estudiadas se encuentran muy próximos entre sí. Un análisis muy similar se obtuvo en la valoración de cada uno de los parámetros estudiados de forma independiente.

Las plántulas que evolucionan en el sustrato 3S, (1) presentan cierta relación con el subgrupo anterior pero los valores obtenidos de estos parámetros, se encuentran mas distantes

Por último aparecen las plántulas obtenidas en los sustratos CS y CE (4 y 5), donde las plántulas se desarrollan con menos calidad y los valores de los variables obtenidas en ellas están distantes y no presentan relación alguna con las plántulas desarrolladas en sustratos de los subgrupos anteriores.

* * * * * H I E R A R C H I C A L C L U S T E R A N A L Y S I S
 * * * * *

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

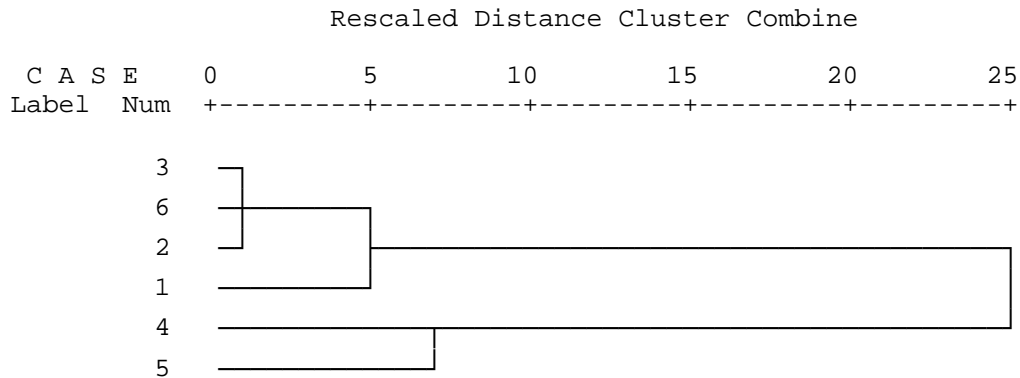


Figura 3.8 Análisis de Cluster (Hierarchical cluster analysis)

3.3.18. Análisis de las condiciones climáticas.

En la Tabla 3.2 (Materiales y métodos) se muestran los datos meteorológicos del período en que se realizó el experimento. Estos datos fueron suministrados por la Estación del 4 de la carretera de La Coloma, Pinar del Río y los mismos se agrupan por decenas.

La siembra de las semillas de *Eucalyptus saligna* Smith se realizó el 25 de mayo del 2007, o sea, que la primera etapa de la fase de establecimiento de la plántula, (la ultima decena de mayo y las dos primeras decenas de junio), transcurrió fundamentalmente, como se aprecia en la Tabla 3.2, con abundantes precipitaciones. Se consideró ventajoso la realización del experimento bajo las condiciones del umbráculo, con el objetivo de tener control estricto de la variable riego.

Después de los 60 días de siembra, ya bajo condiciones climáticas normales, las precipitaciones sustituyeron los riegos correspondientes, en esta etapa las plantas se encontraban en el período de crecimiento rápido y endurecimiento, momento en que las necesidades de agua para las misma se incrementan. En dicho experimento el factor lluvia fue una variable que afectó por igual a todos los tratamientos.

Las temperaturas se mantuvieron entre los 25.1°C y los 28.4°C, la humedad relativa estuvo comprendida entre el 83% y el 88%, estos parámetros se consideran típicos para estos meses.

3.3.19. Valoración económica.

En la Tabla 3.15 se muestran los costos de los sustratos obtenidos con los compost elaborados con mezclas cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1% y sin extraer.

En la misma se puede observar como los costos de los sustratos 6S, 3S, 6E y 3E, son mayores que los sustratos elaborados con 100% de compost. Este comportamiento se debe a la presencia de turba en estos sustratos

El costo de la turba se incrementa por los gastos relacionados fundamentalmente con la transportación

Tabla 3.15. Costos de los sustratos obtenidos en la investigación

Sustratos	Costo por cada 54000 tubutes.
CS	180.00 \$
6S	717.00 \$
3S	737.66 \$
CE	199.70 \$
6E	739.00 \$
3E	741.37 \$
TP	820.61 \$

Los sustratos elaborados con un 100% de compost presentan los menores costos. Para ellos se asume que se producen en las propias instalaciones de las empresas forestales integrales.

Los mayores costos son para el sustrato TP, que dadas sus propiedades químicas, es necesario, en la producción asumir el gasto por fertilizantes. Por lo que la sustitución de parte de la turba por los compost obtenidos en esta investigación disminuye el costo de los sustratos y así como el de producción

3.4. Conclusiones

- Existen tres fases durante el crecimiento de plantas de *Eucalyptus saligna* Smith, en los sustratos estudiados, en su etapa de vivero, una Fase de establecimiento, con un tiempo de duración, cerca de los 40 días después de la siembra, una Fase de crecimiento rápido, con una duración de 40 días aproximadamente, posterior a la fase de establecimiento, y una Fase endurecimiento que comienza a los 80 días aproximadamente después de la siembra.
- Se establece una ecuación cuadrática del tipo $y = at^2 + bt + c$ donde t es el tiempo en días que permanece la planta *Eucalyptus saligna* Smith en el vivero, las ecuaciones permiten diagnosticar el crecimiento de las plantas durante la etapa de vivero en función del sustrato utilizado.
- En los compost obtenidos a partir de mezclas de corteza de las especies estudiadas con estiércol de gallina, se obtienen plántulas *Eucalyptus saligna* Smith de buena calidad cuando los mismos se utilizan como constituyente medio.
- En los sustratos 6S y 6E se obtuvieron las plántulas *Eucalyptus saligna* Smith que mostraron los mejores parámetros morfológicos, fisiológicos e índices de calidad.
- Los análisis de regresión realizados entre el índice de Dickson y el diámetro del cuello de la raíz y la masa total de la planta, establecieron coeficientes de regresiones aceptables.

4. Conclusiones Generales

- El estudio realizado demostró que en la extracción de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell con el sistema de solvente NaOH 1%, se obtuvieron los valores más altos de los contenidos de sustancias extraíbles y modificaciones de los componentes de la pared celular
- Es posible la degradación de las mezclas extraídas y sin extraer mezclas con estiércol de gallina, donde la extracción con NaOH 1% en corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell ejerce un efecto positivo aumentando la velocidad de degradación y disminuyendo el tiempo de degradación de las mezclas iniciales. Los compost obtenidos en ambos procesos estudiados, dada sus propiedades físicas y fisicoquímicas, pueden ser utilizados como constituyente medio para la elaboración de sustrato para viveros forestales
- Las mezclas de los compost obtenidos en el compostaje de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell extraídas con NaOH 1% y sin extraer con un 40 % de turba permite obtener plántulas de *Eucalyptus Saligna* Smith con altos índices de calidad para el transplante y supervivencia en plantación.
- La extracción con NaOH 1% permite un máximo aprovechamiento de la corteza de las especies *Eucalyptus saligna* Smith, y *Eucalyptus pellita* F. Muell lo que generaría beneficios económicos, medioambientales y aumento de los niveles de sustentabilidad para el sector forestal.

Recomendaciones

- Realizar estudios más profundos de los extractos obtenidos en el proceso de extracción de las especies forestales *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell, sobre su uso en industrias farmacéuticas, alimenticias, de preservación de la madera, curtido de pieles, elaboración de cosméticos, adhesivos, adsorbentes, entre otras, lo que sería de gran importancia para la economía nacional.
- Investigar con mayor profundidad las modificaciones experimentadas por los componentes de la pared celular de la corteza de estas especies en los diferentes sistemas de extracción empleados.
- Estudiar aspectos relacionados con el compostaje de la corteza de las especies estudiadas, que permitan realizar un adecuado diseño de una planta de compostaje.
- Concluir con los estudios a nivel de plantación, de las plántulas *Eucalyptus saligna* Smith obtenidas y correlacionarlas con resultados de los experimentos de vivero.
- Generalizar el estudio del uso de los compost elaborados en la obtención de plántulas de otras especies forestales.
- Extender a todas las empresas forestales el aprovechamiento de la corteza de las especies de *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell, para mitigar el impacto negativo su acumulación como residuo y aumentar los niveles de sostenibilidad.

Referencias bibliográficas.

- ABAD, M. Y PUCHADES, R. (COORD.). (2002). Compostaje de residuos orgánicos generados en la hoya de buñol (valencia) con fines hortícolas. Ed. Asociación para la Promoción Socioeconómica Interior Hoya de Buñol, Valencia.
- ABAD, M., NOGUERA, P. Y BURÉS, S. (2001). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197-200.
- ABAD, M., NOGUERA, P., AND CARRION, C. (2004) Los sustratos en los cultivos sin suelo. In *Tratado de Cultivo Sin Suelo*, 3rd Ed.; Urrestarazu, M., ed.; Mundi-Prensa: Madrid, Spain, 113–158.
- ABARCA, S. y AGUILAR, R. (2002) Producción de sustratos para vivero. Disponible en: <http://ns1.oirsa.org.sv/-Publicaciones/VIFINEX/ManualesCosta-Rica/Sustratos-para-Viveros-06.htm>, (Consultada 8 de julio 2007).
- ADAMS, P., (2001).The Business of Birch, News Tribune. UMD, MN, EE.UU.
- ALESSANDRINI M., VARGAS, J. O., (2006), Biopreservantes de maderas basados en taninos y otros extractivos de la corteza de pino y su acción antioxidante: antecedentes y perspectivas. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/preserv-madera/preserv-madera.htm> (Consultada el 2 de junio de 2007)
- ALVARADO, M. Y SOLANO, J. (2002) Medios o sustratos en la producción de viveros y plantas en *Manual de Producción de sustratos para vivero*. Disponible en: <http://ns1.oirsa.org.sv/Publicaciones/VIFINEX/Manuales-Costa-Rica/Sustratos-para -Viveros-06.htm>, (Consultada 8 de julio 2006).
- ALZUGARAY, P.; HAASE D.; ROSE, R. (2004), Efecto del volumen radicular y la tasa de fertilización sobre el comportamiento en terreno de plantas de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) producidas con el método 1+1. *Bosque*, Vol. 25 N° 2, pp. 17-33.
- ANASTASI, A., VARESE, G., C., VOYRON, S., SCANNERINI, S., AND MARCHISIO, V., F., (2004), Characterization of Fungal Biodiversity In

Compost and Vermicompost. Compost Science & Utilization, Vol. 12, No. 2,185-191.

ANSORENA, M. J. (1994) Sustratos, propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. España.172 p.

ARANDA, L.; CASTRO, M.; PARDOS, L.; GIL and J.A. PARDOS (2005) Effects of the interaction between drought and shade on water relations, gas exchange and morphological traits in cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings. Forest Ecology and Management, Volume 210, Issues 1-3, 117-129 p.

BAKER T. T., CONNER W. H., LOCKABY B. G., STANTURF J. A. and BURKE M. K., (2001), Fine root productivity and dynamics on a forested floodplain in south Carolina. Soil Sci. Soc. Am. J. (65): 54-556.

BENEDETTI, S. y DELARD C. (2005) Evaluación de tres sistemas de producción de plantas de castaño para producción forestal. Instituto de Investigación Forestal INFOR Sede Centro Norte. Huérfanos 554, Santiago, Chile. 24 p.

BURÉS, S., (2002), Papel de la materia orgánica en el suelo. Número 8 de TERRALIA Ediciones Agrotécnicas, S.L. Plaza de España, ISSN: 1138-6223 páginas

BURESTI, E.; MORI, P. (2003) Progettazione e realizzazione di impianti di arboricoltura da legno. Firenze, Italia. 78 p.

CAIRO, P. Y FUNDORA, O. (2002) Edafología. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana. 476 p.

CALDEIRA J. F., BRITO, P., PEPINO, L., PORTUGAL, A., GIL., H., E PEREIRA DA COSTA R., (2002). Métodos de Extracção de Taninos e de Preparação de Adesivos para Derivados de Madeira: Uma Revisão. *Silva Lusitana* 10(1): 101 - 109,

- CALDEIRA, M. V., W., SCHUMANCHER, M. V., RODRIGUEZ, L., MUNARI, H., OLIVEIRA, L., (2000). Crecimiento de mudas de *eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. Floresta 28(1/2): 19-30.
- CALDERÓN, F. y CEVALLOS, F., (2003), Los sustratos. www.drcalderonlabs.com Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm
- CANOVAS, F.; MAGNA, J. J.; BOUKHALFA, A. (2000) Cultivos sin suelo. Hidroponía. En Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos del Sureste español. Ed. Instituto de la Caja Rural de Almería, España.
- CASTILLO, I. (2006). Efecto de diferentes sustratos y del endurecimiento por riego en la calidad de las plantas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en contenedores en Pinar del Río, Cuba. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor.
- CASTILLO, I.; MEDINA, M.; MEDINA, R. Y PÉREZ, J. M. (2004). Transpiración cuticular y potenciales hídricos en *Eucalyptus grandis*, sobre tubetes, bajo diferentes regímenes de riego en Pinar del Río, Cuba. En: III Simposio Internacional sobre Manejo Sostenible de Recursos Forestales. ISBN 959-16-0261-X Cuba.
- CASTILLO, J.E., HERRERA, F., LOPEZ-BELLIDO, R.J., LOPEZ-BELLIDO, F., J., LOPEZ-BELLIDO, L., Y FERNANDEZ, E., J., (2004). Compost de desechos sólidos municipales como un constituyente medio. Compost Science and utilization. Vol. 12, No. 1, p. 86-82.
- CAYUELA, M.L., BENAL M.P., AND ROIG, A., (2004), Composting Olive Mill Waste and Sheep Manure For Orchard Use. Compost Science & Utilization, Vol. 12, No. 2, 130-136.
- CE- COMISIÓN EUROPEA. 2001. *BIOLOGICAL TREATMENT OF BIOWASTE, 2ND DRAFT, WORKING DOCUMENT*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Brussels. URL: http://europa.eu.int/comm/environment/waste/facts_en.htm (10/9/2003)

CE-COMISIÓN EUROPEA. 2000. *EJEMPLOS DE BUENAS PRÁCTICAS DE COMPOSTAJE Y RECOGIDA SELECTIVA DE RESIDUOS*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Brussels.

URL:http://europa.eu.int/comm/environment/waste/publications/compost_es.pdf
(18/9/2003)

CETINA-ALCALÁ, VÍCTOR M.; VÍCTOR A. GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, MARÍA L. ORTEGA-DELGADO (2002) Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm previamente sometido a podas o sequía en vivero. *Agrociencia* (36): 233-241.

CLARK, S., AND CAVIGELLI, M., (2005), Suitability of Composts as Potting Media for Production of Organic Vegetable Transplants. *Compost Science & Utilization*, , Vol. 13, No. 2, 150-156.

CLIMENT, M.D., ABAD, M. Y ARAGÓN, P. (1996). *El Compost de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Sus Características y Aprovechamiento en Agricultura*. Ediciones y Promociones LAV S.L., Valencia.

COBAS, M. (2001) Caracterización de los atributos de calidad de la planta de *Hibiscus elatus* Sw. cultivada en tubetes. Pinar del Río. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río 100 p.

CUNHA-QUEDA, A.C., RIBEIRO H.M., RAMOS A., AND CABRAL F., Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark. [Bioresource Technology](#).

CHEN, J., D.B. MCCONNELL, C.A. ROBINSON, R.D., CALDWELL AND Y. HUANG (2002). Production and interior performances of tropical ornamental foliage plants grown in container substrates amended with compost. *Comp. Sci. Utilizat.*, 10 (3): 217–225.

CHEN, Y., SUN, L., NEGULESCU, I., I., MOORE, M., A., AND COLLIER, B., J., (2005). Evaluating Efficiency of Alkaline Treatment for Waste Bagasse. *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, 44:397–411, ISSN 0022-2348

- CHONG, C.; (2003), Desechos de papel mezclados con compost como sustratos para vivero de contenedores. *Compost Science & Utilization*, Vol. 11, No. 1,16-26.
- COLOM I PUIGBO, G. (2001). Compostaje de residuos orgánicos. Macroconferencia. Centro de Ecología y proyectos alternativos. Valladolid. <http://www.ecologistasenaccion.org/accion/residuos/ponencias.htm/>
- DEDE, Ö., H., KÖSEOGLU, G., ÖZDEMİR, S., ÇELEBI, A. (2006) Effects of Organic Waste Substrates on the Growth of Impatiens. *Turk. J. Agric. For.* 30 375-381.
- DÍAS ACOSTA, A. y col. (1986) "Ciencia de la madera", La Habana.
- DÍAZ DUQUE, J. (2006) Conferencia magistral IX Simposio Internacional sobre Manejo Sostenible de los recursos forestales. Universidad "Hermanos Saíz Montes de Oca" Pinar del Río, 19 al 22 de abril de 2006
- DIMITRIV, P., K., ROBERT, K.H. (2000) A Laboratory to investigate emissions and solids decomposition during composting of municipal solid wastes *Compost Science & Utilization*, Vol. 8, No. 3, 254-265.
- DIORIO, L. A., FORCHIASSIN, F., PAPINUTTI, V. L. Y SUELDO, D.V., (2003); Actividad enzimática y degradación de diferentes tipos de residuos orgánicos por *Saccobolus saccoboloides* (Fungi, Ascomycotina). *Rev. Iberoam. Micol.* 20: 11-15 .
- DOMINGO, D. Y LOPEZ- BREA, M., (2003). Plantas con acción antimicrobiana. *Rev. Esp. Quimioterap.* Vol. 16. No. 4, 385-393.
- DOMÍNGUEZ, S. (1997) La importancia del envase en la producción de plantas forestales. Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo", Ministerio de Medio Ambiente, Apdo. 249, 19080. Guadalajara. España.
- DOMÍNGUEZ, S.; HERRERO, N.; CARRASCO, I.; OCAÑA, L.; PEÑUELAS, J. AND MEXAL, J.G. (2006) Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management* (221): 63–71.

- EILAND, F., LETH, M., KLAMER, M., LIND, A., M., JENSEN, H.E.K., AND IVERSEN, J.J.L. (2001) C and N turnover and lignocellulose degradation during composting of *Miscanthus* straw and pig manure. *Compost Science & Utilization*, Vol. 9, No. 3, 186-196.
- ESCARRÉ, A. (2003) Medida del potencial hídrico. Método de la bomba de Scholander. (Metodología). Curso de postgrado impartido en la Universidad de Pinar del Río Cuba 160 p.
- EYLES, A., DAVIES, N. W., YUAN, Z., Q. AND MOHAMMED, C. (2003), Host responses to natural infection by *Cytonaema* sp. in the aerial bark of *Eucalyptus globulus*. *For. Path.* 33 (2003) 317–331 ISSN 1437–4781.
- FRADINHO D.M., PASCOAL C., EVTUGUIN D., JORGE, F.C. , IRLE, M.A., GIL, M.H., PEDROSA, J., (2001), Chemical characterisation of bark and of alkaline bark extracts from maritime pine grown in Portugal, *Industrial Crops and Products*. Article Press.
- FREITAS T., BARROSO, D., CAMEIRO, J.; PENCHEL, R.; LAMONICA, K., y FERREIRA, D.; Desempeño radicular de plántulas de eucaliptos producidos en diferentes sustratos. *Rev. Árvore* vol.29, no.6, Viçosa, Nov./Dec. 2006. ISSN 0100-6762.
- FUENTES, M. Y OROPEZA, J. (1996) Evaluación preliminar del comportamiento de algunos materiales orgánicos como sustratos para la siembra de *Eucalyptus urophylla*. Segundo Taller Internacional Biomasa Vegetal. Bioforest, Pinar del Río. Cuba. 23 p.
- GARCIA-GOMEZ, A., BERNAL, M.P. AND ROIG, A., (2005), Organic Matter Fractions Involved in Degradation and Humification Processes During Composting. *Compost Science & Utilization*, Vol. 13, No. 2, 127-135.
- GOMEZ, J., M.; L. COUTO, L.; H GARCIA, L.; XAVIER, A. Y LAGES S.RIBEIRO. (2002). Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *eucalyptus grandis*. *Rev. Árvore*, vol.26, no.6, Viçosa ,Nov./Dec. ISSN 0100-6762.

- GRIGSBY, W. J., HILL, S. J., AND MCINTOSH, C. D. (2003). Estimation of Extractables from Bark: Analysis Method for Quantifying Tannin Extraction from Bark NMR. *Journal of wood chemistry and technology*. Vol. 23, No. 2, pp. 179–195.
- GROSSNICKLE, S. C. AND MAJOR, J. E. (1991) Stock quality assessment through an integrated approach. *New Forest*. 5 T (2): 77-91.
- GUERRERO, F., GASCÓ, J.M AND HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L. (2002). Use of poplar tree bark and sewage sludge compost as components of substrates for *Pinus densiflora* and *Cupressus arizonica* production. *J. Plant Nutr.*, 25 (1): 129–14.
- JIMÉNEZ, L.C., (2004), Compostaje preliminar de la mezcla de cortezas de las especies *Eucalyptus pellita* F. Muell. y *Eucalyptus saligna* Smith extraídas con diferentes medios de extracción durante 30 días. Trabajo de diploma.
- KINDSIGO, M. y KALLAS, J., (2006). Degradation of lignins by wet oxidation: model water solutions. *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem.*, 55, 3, 132–144.
- LAFOND, S., PARÉ, T., DINEL, H., SCHNITZER, M., CHAMBERS, J., R., LAOUICH, A., (2002), Composting duck excreta enriched wood shavings: c and n transformations and bacterial pathogen reductions. *J. Environ. Sci. Health*, b37 (2), 173–186
- LANDIS, T. D; TINUS, S. E; BARNETT, J. P.; NESLEY, R. G; RODRÍGUEZ, T. D. A; SÁNCHEZ; V. J. R. Y ALDANA, B. R. (2000a) Manual de vivero para la producción de Especies Forestales en contenedores. Volumen 2 Contenedores y Medios de Crecimiento. Handbook 674, 126 p.
- LU, W., WANG, H., NIE, Y., WANG, Z., HUANG, D., QIU, X., CHEN, A., (2004), Effect of Inoculating Flower Stalks and Vegetable Waste with Ligno-cellulolytic Microorganisms on the Composting Process. *Journal of Environmental Science and Health. Part B—Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes* Vol. B39, Nos. 5–6, pp. 871–887.

- MALAVASI, U., C. Y MALAVASI, M., Efeito do volume do tubete no crescimento inicial de plântulas de *cordiatrichotoma* (vell.) arrab. ex steud e *jacaranda micranta* cham. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 11-16 11 ISSN 0103-9954
- MANZUELA, P., SALAS, M.C. AND URRESTARAZU, M., (2005), Vegetable waste compost as substrate for melon. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36: 1557–1572,. ISSN 0010-3624.
- MARCELLI, A. R. Y PIOTTO, B. (1993) Recientes estudios sobre la cría de eucaliptos en Italia.- Congreso Forestal Español. Tomo II.
- MARTIN-DUPONT, F., GLOAGUEN, V., GUILLOTON, M., GRANET, R., AND KRAUSZ, P. (2006) Study of the Chemical Interaction between Barks and Heavy Metal Cations in the Sorption Process. Journal of Environmental Science and Health Part A, 41:149–160, ISSN: 1093-4529.
- MARTINEZ L. F., (1989). “Obtención, caracterización general y posibles usos industriales de taninos vegetales contenidos en la corteza de cinco especies forestales que crecen en Cuba”. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. IIF, La Habana, Cuba.
- MARTÍNEZ, F.X., 2002. Gestión y tratamiento de residuos agrícolas. URL: http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm (7/8/2007)
- MAX, R.A., WAKELIN, D., CRAIGON, J., KASSUKU, A.A., KIMAMBO, A.E., MTENGA, L.A. AND BUTTERY, P.J., (2006), Effect of two commercial preparations of condensed tannins on the survival of gastrointestinal nematodes of mice and goats *in vitro*. South African Journal of Animal Science. 213-221
- MEDINA, M, R. (2004) Producción de plantas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en contenedores utilizando diferentes sustratos y regímenes de riegos en dos localidades de la provincia de Pinar del Río. Tesis (en opción al Título académico de Master en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río 95 p.

- MEHRABAN FALAHATI, NASIM OMIDI TABRIZIB and FERESHTEH JAHANIANI (2005). Anti Dermatophyte Activities of *Eucalyptus camaldulensis* in Comparison with Griseofulvin. Iranian journal of pharmacology & therapeutics4:80-83,
- MENDEL, Z.; PROTASOV, A.; FISHER, N. AND LA SALLE, J. (2004) Taxonomy and biology of *Leptocybe invasagen.* sp. n. (Hymenoptera: Eulophidae), an invasive gall inducer on Eucalyptus. Australian Journal of Entomology, 101–113 p.
- MESKIMEN, G. Y FRANCIS, J. (1990) *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden Eucalipto rosado Myrtaceae Familia de los mirtos: Disponible en: www.fs.fed.us/global/iitf/Eucalyptusgrandis.pdf (Consultada 12 de julio 2006).
- MOLDES, A.; CEDÓN Y.; LOPEZ, E.; AND BARRAL, M.T. (2006), Biological Quality of Potting Media Based on MSW Composts: A Comparative Study .Compost Science & Utilization, Voi. 14, No. 4,296-302.
- MONTEOLIVA, S.; NUÑEZ, C.; IGARTÚA, D.; (2002), Densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera de una plantación de *eucalyptus globulus* en la provincia de Buenos Aires, Argentina. Congreso Iberoamericano de la celulosa y el papel.
- MORENO, J. M. (2002) La materia orgánica y la capacidad de retención de humedad en sustratos. Revista Agricultura orgánica, (8) 23-25 p.
- MORI, F. A., VITAL, B. R., PIMENTA, A. S., TRUGILHO, P. F., JAHM, G. N., LUCIA, R. M. D.; (2002) Análise cinética da cura de adesivos de taninos das cascas de três espécies de *eucalyptus* por calorimetria diferencial exploratória (DSC).Rev. Árvore, vol.26, no.4, Viçosa, July/Aug., ISSN 0100-6762.
- MORI, F., MORI, C., MENDES, L., MOREIRA DA SILVA, J., R., MELO, V., M., (2003).Influência do sulfito e hidróxido de sódio na quantificação em taninos da casca de Barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*) *Floresta e Ambiente* V. 10, n.1, p.86 – 92.

- MORI, F.A. (2000). Caracterização parcial dos taninos da casca e dos adesivos de três espécies de *E. grandis*. 73f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MTNEZ-ALMELA, CORTINA, J., FUENTES, J., VALDECANTOS, D., A., BARRERA J. (2005) Valorización de la fracción sólida del tratamiento de purines, compostaje y reforestación en el ámbito mediterráneo. Disponible mrsoperaciones@selco.net33a242639c0517209875774bfb076636.pdf(Consultada 20 de mayo del 2007)
- MUPONDI, L.T. MNKENI, P. N. S., Y BRUTSCH, M.O. (2006) The Effects of Goat Manure, Sewage Sludge And Effective Microorganisms on the Composting of Pine Bark. *Compost Science & Utilization*, Vol. 14, No. 3, 201-210.
- MUPONDI, L.T., MNKENI, P. N. S., Y BRUTSCH, M.O. (2006), Evaluation of pine bark or pine bark with goat manure or sewage sludge cocomposts as growing media for vegetable seedlings. *Compost Science & Utilization*, Vol. 14, No. 4, 238-243
- NOGUERA, P., M. ABAD, R. PUCHADES, A. MAQUIEIRA AND V. NOGUERA. (2003). Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as a container medium. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 34:593-60.
- OJEDA, A. (2000) Evaluación de los requerimientos técnicos para la implementación de una tecnología de composteo en la planta de reciclaje de Ciudad de La Habana mediante la aplicación de criterios prácticos y termodinámicos. Trabajo de Diploma. Ingeniería Química.
- OLIET, J, A. (2000) La calidad de la planta forestal en vivero. Ed. ETSIAM. Córdoba. España. 93 p.
- OLIET, J. A. (1995) Influencia de la fertilización en vivero sobre la calidad de la planta y la supervivencia en campo de varias especies forestales. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. ETSIAM.

- OLIET, J. A. (1997). La calidad de la postura forestal en vivero. Editorial Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Monte de Córdoba; España. 93 p.
- OLIET, J. A. (2001) Aplicaciones de la medida del estado hídrico en el viverismo. Universidad de Córdoba. España. 15 p.
- OLIVO, V., B., Y BUDUBA, C., G., (2006) Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. Bosque (Valdivia), vol.27, no.3, p.267-271. ISSN 0717-9200.
- OREA, U., (2000) Caracterización química de la madera y la corteza de tres especies de Eucalyptus de la Provincia de Pinar del Río con fines industriales. (Eucalyptus saligna Smith, Eucalyptus citriodora Hook y Eucalyptus pellita F. Muell). Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales, UPR, Pinar del Río.
- OREA, U., (2005) Thermal decomposition of wood lignin. COMAT. Buenos Aires Argentina.
- OTERO, L.R. (1992). Residuos sólidos urbanos. Unidades Temáticas Ambientales. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid.si
- OTTEN, L. (2003). Curso de Postgrado Internacional: Integrated Solid Waste Manegement.
- PARRA, Q, R.; BECERRIL, R, E. Y LÓPEZ, C. C., (2002), Transpiración, resistencia estomática y potenciales hídricos en manzano 'golden delicious' injertado sobre portainjertos clonales. Disponible en: <http://www.chapingo.mx/terra/contenido-/20/2/art113-121.pdf> (Consultado el 3 de marzo 2005)
- PASTOR, J. N., (2004), Utilización de sustratos en vivero. Disponible en: <http://www.chapingo-mx/terra-/contenido/17/3/art> (Consultado 20 julio del 2004),

- PAUL, K. I. AND POLGLASE, P. J., (2004), Prediction of decomposition of litter under eucalypts and pines using the FullCAM model. *Forest Ecology and Management* .Volume 191, Issues 1-3 , 5 April Pages 73-92.
- PEÑA, E. Y COL. (2002). Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana.
- PEÑALVER, A., (1991). Estudios de crecimiento y rendimiento de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. de la provincia de Pinar del Río. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río, p. 101.
- PEÑUELAS, J. L., (1999), El manejo del agua y de los factores ambientales en los cultivos. Centro de Mejora Forestal "El Serranillo". Ministerio de Medio Ambiente. 13 p.
- PINEDA-OJEDA, V.; CETINA-ALCALÁ, M.; VERA-CASTILLO; J. CUAUHTÉMOC, T.; CERVANTES-MARTÍNEZ, Y. Y KHALIL-GARDEZI, A. (2004) The transplanting container-container (1+1) and container-bareroot (P+1) IN *Pinus greggii* Engelm. seedling production *AGROCIENCIA* Vol. 38, No. 6.
- PIRES, A.J.V., R. ANDRADE REIS, CARVALHO, G. G. P,SIQUEIRA,. G. R., BERNARDES, T.F., (2006) Bagaço de cana-de-açúcar tratado com hidróxido de sódio. *R. Bras. Zootec.*, v.35, n.3, p.953-957, (supl.)
- POBLETE, H, ROFFAEL, E., (2004). Bark acidity of some Chilean native species. *BOSQUE* 25(3): 73-78.
- QUEIROZ, C. R.. LEMOS, S. A., y NASCIMENTO, E. A., (2002), Characterization of aroeira-preta (*Myracrodruon urundeuva*) wood tannins. *Rev. Árvore*, vol. 26, no. 4, pp. 493-497.
- QUIRÓZ, I. FLORES, L.; PINCHEIRA, M.; VILLARROEL, A., (2001), Manual de viverización y plantación de especies nativas. Zona centro y sur de Chile. Instituto Forestal. Valdivia, Chile.159 p

- RAMÍREZ, A. Y RODRÍGUEZ-TREJO, D. A., (2004), Efecto de calidad de planta, exposición y micro-sitio en una plantación de *Quercus rugosa*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del ambiente Vol. X, No. 1
- RAVIV, M., (1998), Horticultural uses of composted material. *Acta Horticulturae* 469: 225-234.si
- RÖBEN, E., (2002), Manual de Compostaje Para Municipios. Loja, Ecuador.
- ROYO, A.; FERNÁNDEZ, M; GONZÁLEZ, E; PUELLES, A; RAMOS, R; PARDOS, J. A., (1997), La calidad de la planta de *Pinus halepensis* Mill destinada a la repoblación forestal. *Revista Montes*. (50): 28-38.
- RUIBAL, I. J., ECHEVARRÍA, M. D., MARTÍNEZ LUZARDO, F., NOA, E, VARGAS L. M. Y SANTANA J. L., (2003) Inhibición de la replicación del virus de inmunodeficiencia humana por extractos de taninos de *Pinus caribaea* Morelet. *Rev. Cubana Farm*, v.37, n.2, Ciudad de la Habana, Mayo-ago. ISSN 0034-7515.
- RYCKEBOER, J., MERGAERT, J., COOSEMANS, J., DEPRINS, K., AND SWINGS, J., (2003), Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *Journal of Applied Microbiology* 94, 127–137.
- RYNK, R Y COL. (1992).On farm Composting Handbook, Northeast Regional Agricultural. Engineering Service.
- SALÈTES S., SIREGAR, A., F., CALIMAN, J., AND LIWANG, T., (2004), Ligno-Cellulose Composting: Case Study on Monitoring Oil Palm Residuals. *Compost Science & Utilization*, Vol. 12, No. 4,372-382.
- SALVIONI, R., GARAU, A., Y DELFINO, S., Porcentaje de corteza en cinco especies de eucalipto en forestaciones de Ramallo, Provincia de Buenos Aires.
- SANCHEZ-MONEDERO, M., ROIG, A., CEGARRA, J., BENAL, M. P., PAREDES, C., (2002). Effects of HCL-HF purification treatment on chemical composition and estructura of humics acids. *European Journal of Soil Science*, 53, 375-381.

- SANCHEZ-MONEDERO, M., ROIG, A., CEGARRA, J., BERNAL, M. P., NOGUERA, P., ABAD M., AND ANTON A. (2004), Composts as Media Constituents for Vegetable Transplant Production. *Compost Science & Utilization*, Vol. 12, No. 2, 161-168.
- SANDOVAL A., STUARDO A. (2002), Compost: una buena alternativa de sustrato. Universidad de Chile.
- SASIKUMAR, K., VIJAYALAKSHMI, C., & PARTHIBAN, K. T., (2004), Allelopathic effects of four *eucalyptus species* on cowpea (*vigna unguiculata*). *Journal of Tropical Forest Science*, 16(4): 419-428 419
- SAYMONDS, W. L.; CAMPBELL, L. C. AND CLEMENS J., (2001), Response of ornamental Eucalyptus from acidic and alkaline habitats to potting medium pH. *Scientia Horticulturae*, Volume 88, Issue 2, 16 April 2001, Pages 121-131.
- SILVA, J. C., (2001), Eucalipto- A Madeira do Futuro. *Revista da Madeira*. 114p. il Curitiba
- SJOSTROM, E., (1981), *Wood Chemistry Fundamentals and Applications*. Pp. 98-103,
- SOLIVA, M., (2001), *Composstatge gesto deresidus organiscs*. *Estudis i Monografies 21*. Diputació de Barcelona, área de Medi Ambient, Barcelona.
- TAPPI (1998). *Test Methods*. Technical Association of the Pulp and paper Industry, TAPPI Press, Atlanta,
- THOMPSON, B., (1985), Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking. In: *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test*. M. L. Duryea eds. Forest Research Laboratory. Oregon State University. 59-69 p.
- TIQUIA, S.M., (2005) Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *Journal of Applied Microbiology*. 99, 816–828.
- TORRES, J., OLIVARES, S., ROSA, D. DE LA, LIMA, L., MARTÍNEZ, F. MUNITA, C.S. AND T.FAVARO, D.I., (1999). Removal of mercury(II) and

methylmercury from solution by tannin adsorbents Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Volume 240, Number 1, 361-365, ISSN 0236-5731

- TRIGUEIRO, R. Y GUERRINI, I., (2003). Uso de un biosólido como sustrato para producir plántulas de Eucaliptos. *Scientia Forestales*, n.64, p150-162, dicpp. 853-861.
- VAMVUKA, D.; PASADAKIS, N.; KASTANAKI, E.; GRAMMELIS, P.; KAKARAS, E. (2003), Kinetic modeling of coal/agricultural by-product blends. *Energ. Fuel*. 17 (3), 549–558.
- VÁZQUEZ, G., GONZALES ALVARES, J., FREIRE, S., LOPEZ-SUEVO, F., ANTORENA, G., (2001), Characteristics of pinus pinaster bark extracts obtained under various extraction conditions. *Holz als Roh- und werkstoff*. 99, p451-456.
- VÁZQUEZ, G., GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, J., ANTORRENA, G., (2000), Eucalyptus lobulus plywoods prepared with tannin-phenol-formaldehyde adhesives, En: *Recent Research Developments in Chemical Engineering*, S. Pandalai Ed., Transworld Research Network, Trivandrum, 313-325
- VÁZQUEZ, G., GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, J., FREIRE, S. Y ANTORRENA, G. (2005), Desarrollo de un Adsorbente Basado en Taninos de Corteza de *Pinus pinaster* *Información Tecnológica*-Vol. 16 N°2, págs.: 47-51.
- VÁZQUEZ, G., GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, J., LÓPEZ-SUEVOS, F., ANTORRENA, G., (2002), Rheology of tannin-added phenol formaldehyde adhesives for plywood, *Holz Roh Werkst.*: 60, 88-91
- VÁZQUEZ, G., GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, J., LÓPEZ-SUEVOS, F., ANTORRENA, G., (2003), Effect of veneer side wettability on bonding quality of Eucalyptus plywoods prepared using a tannin-phenol-formaldehyde adhesive, *Bioresource Technol.*: 87, 349-353
- VÁZQUEZ, G., LÓPEZ-SUEVOS, F., VILLAR-GAREA, A., GONZÁLEZ-ÁLVAREZ J. and ANTORRENA G. (2004), ³C-NMR analysis of phenol-urea-formaldehyde prepolymers and phenol-urea-formaldehyde-tannin adhesives. *J. Adhesion Sci. Technol.*, Vol. 18, No. 13, pp. 1529–1543

- VILLAR, P., (2002), Revista Ecología. Importancia de la calidad de la planta en las labores de re-vegetación Año XI N° 1 / Enero – Abril
- VILLAR, P.; GARRACHÓN, S.; DOMÍNGUEZ, S.; PEÑUELAS, J.; SERRADA, R.; OCAÑA BUENO, L., (2001b), Efecto de diferentes niveles de endurecimiento por estrés hídrico en el contenido de nutrientes y la resistencia a la desecación de plántulas de *Pinus halepensis* Mill. Actas del III Congreso Forestal Español. 2001. Granada. Mesa 3: 797-803, Disponible en: http://www.mma.es/conserv_nat/acciones/mejora_genet/pdfs/serranillo/deform_ppinaster.pdf
- VILLAR, P.; OCAÑA, B. L; PEÑUELAS, R. J. CARRASCO, M. I; DOMÍNGUEZ, L. S., (1997b), Efectos de diferentes niveles de endurecimiento por estrés hídrico en el contenido de nutrientes y la resistencia a la desecación de plántulas de *Pinus halepensis* Mill. Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo”, Ministerio de Medio Ambiente. Guadalajara. España. Actas del II Congreso Forestal Español.
- VILLAR, P; OCAÑA B, L; JUAN L. PEÑUELAS R, J; CARRASCO M, I; SUSANA DOMÍNGUEZ L, S; RENILLA E, I., (1997a), Relaciones hídricas y potencial de formación de raíces en plántulas de *Pinus halepensis* Mill. Sometidas a diferentes niveles endurecimiento por estrés hídrico. Disponible en: <http://www.mma.es/conservnat/acciones-/meora/genet/-serranillo/enderucimiento.ph1.pdf>. (Consultado 25 de febrero del 2005).
- VILLAR, S. P; SALVADOR, P.; OCAÑA, L.; PEÑUELAS, J. Y CARRASCO I., (2000), Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de la planta de *Pinus pinea*. Disponible en: http://www.mma.es/conserv_nat/acciones/mejoragenet/pdfs/serranillo/endurecimiento_ppinea.pdf. (Consulta el 10 de marzo del 2005).
- VILLAR-SALVADOR, P.; GARRACHÓN, S.; DOMÍNGUEZ LERENA, S.; PEÑUELAS, J. L.; SERRADA, R. y OCAÑA, L., (2001a), Desarrollo en campo, arquitectura radical y estado hídrico seis años después de la

plantación de brinzales de *Pinus pinea* cultivados en diferentes tipos de contenedor. Actas del III Congreso Forestal Español Mesa 3: 791-796.

VITAL, B., R., CARNEIRO, A., PIMENTA, A., *et al.* ,(2004), Two eucalypts bark tannin-based adhesive for production of flakeboards. *Rev. Árvore*, July/Aug., vol.28, no.4, p.571-582. ISSN 0100-6762.

VORONOVA,M.I., PETROVA,S.N., LEBEDEVA, T. N., IVANOVA, O. N., PRUSOV, A. N. AND ZAKHAROV, A. G., (2004), Changes in the structure of flax cellulose induced by solutions of lithium, sodium,and potassium hydroxides. *Fibre Chemistry*, Vol. 36, No.6.

YADAV, K. R., SHARMA, R. K. AND KOTHARI, R. M. (2002), Bioconversion of eucalyptus bark waste into soil conditioner. *Bioresource Technology*. Volume 81, Issue 2 , Pages 163-165

YU, S. Y ZINATI, G. M., (2006), Physical and chemical changes in container media in response to bark substitution for peat. *Compost Science & Utilization*, Vol. 14, No. 3,222-230.

Anexo 1

Análisis de varianza univariante para todas las extracciones

ANOVA

Rendimiento

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	22532,723	5	4506,545	1844,084	,000
Intra-grupos	865,100	354	2,444		
Total	23397,823	359			

Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Rendimiento
Bonferroni

i) MODO	j) MODO	Diferencia de medias (I-J)	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Agua caliente Salina	Agua caliente Pelita	6,71833*	,000	5,87487	7,56180
	Agua fría Salina	4,36433*	,000	3,52087	5,20780
	Agua fría Pelita	11,92983*	,000	11,08627	12,77330
	NaOH Salina	-9,50567*	,000	-10,34913	-8,66220
	NaOH Pelita	-9,05467*	,000	-9,89813	-8,21120
Agua caliente Pelita	Agua caliente Salina	-6,71833*	,000	-7,56180	-5,87487
	Agua fría Salina	-2,35400*	,000	-3,19746	-1,51054
	Agua fría Pelita	5,21150*	,000	4,36804	6,05496
	NaOH Salina	-16,22400*	,000	-17,06746	-15,38054
	NaOH Pelita	-15,77300*	,000	-16,61646	-14,92954
Agua fría Salina	Agua caliente Salina	-4,36433*	,000	-5,20780	-3,52087
	Agua caliente Pelita	2,35400*	,000	1,51054	3,19746
	Agua fría Pelita	7,56550*	,000	6,72204	8,40896
	NaOH Salina	-13,87000*	,000	-14,71346	-13,02654
	NaOH Pelita	-13,41900*	,000	-14,26246	-12,57554
Agua fría Pelita	Agua caliente Salina	-11,92983*	,000	-12,77330	-11,08637
	Agua caliente Pelita	-5,21150*	,000	-6,05496	-4,36004
	Agua fría Salina	-7,56550*	,000	-8,40896	-6,72204
	NaOH Salina	21,43550*	,000	22,27896	20,59204
	NaOH Pelita	-20,98450*	,000	-21,82746	-20,14104
NaOH Salina	Agua caliente Salina	9,50567*	,000	8,66220	10,34913
	Agua caliente Pelita	16,22400*	,000	15,38054	17,06746
	Agua fría Salina	13,87000*	,000	13,02654	14,71346
	Agua fría Pelita	21,43550*	,000	20,59204	22,27896
	NaOH Pelita	4,51000*	1,000	-,39246	1,29446
NaOH Pelita	Agua caliente Salina	9,05467*	,000	8,21120	9,89813
	Agua caliente Pelita	15,77300*	,000	14,92954	16,61646
	Agua fría Salina	10,41900*	,000	12,57554	14,26246
	Agua fría Pelita	20,98450*	,000	20,14104	21,82796
	NaOH Salina	4,51000*	1,000	1,20446	3,92446

*. La diferencia entre las medias es significativa al nivel .05.

Anexo 2 Análisis de varianza univariante para el NaOH

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: REND

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	95,645 ^a	19	5,034	1138,042	,000
Intersección	56617,575	1	56617,575	1,3E+07	,000
TIEMPO	68,946	3	22,982	5195,621	,000
RELAC	24,024	4	6,006	1357,777	,000
TIEMPO * RELAC	2,675	12	,223	50,402	,000
Error	,177	40	4,423E-03		
Total	56713,396	60			
Total corregida	95,822	59			

a. R cuadrado = ,998 (R cuadrado corregida = ,997)

Pruebas post hoc Subconjuntos homogéneos

REND

Duncan ^{a,b}

TIEMPO	N	Subconjunto		
		1	2	3
8	15	29,08933		
12	15		30,42200	
24	15			31,67133
48	15			31,69133
Significación		1,000	1,000	,415

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 4,423E-03.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 15,000

b. Alfa = ,05.

REND

Duncan ^{a,b}

RELAC	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
,050000	12	29,96833			
,025000	12		30,19667		
,016600	12			30,49583	
,012500	12				31,45333
,010000	12				31,47833
Significación		1,000	1,000	1,000	,363

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

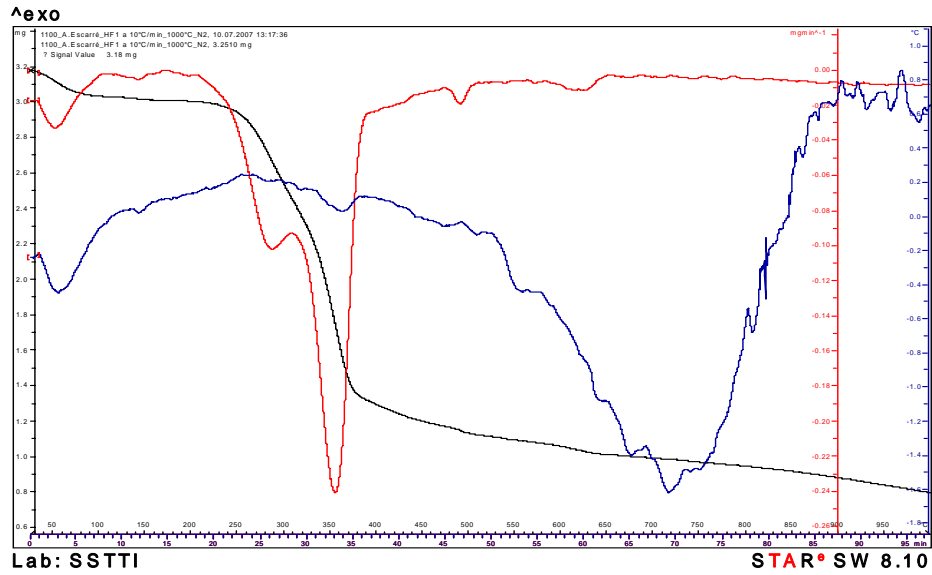
El término error es la Media cuadrática (Error) = 4,423E-03.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 12,000

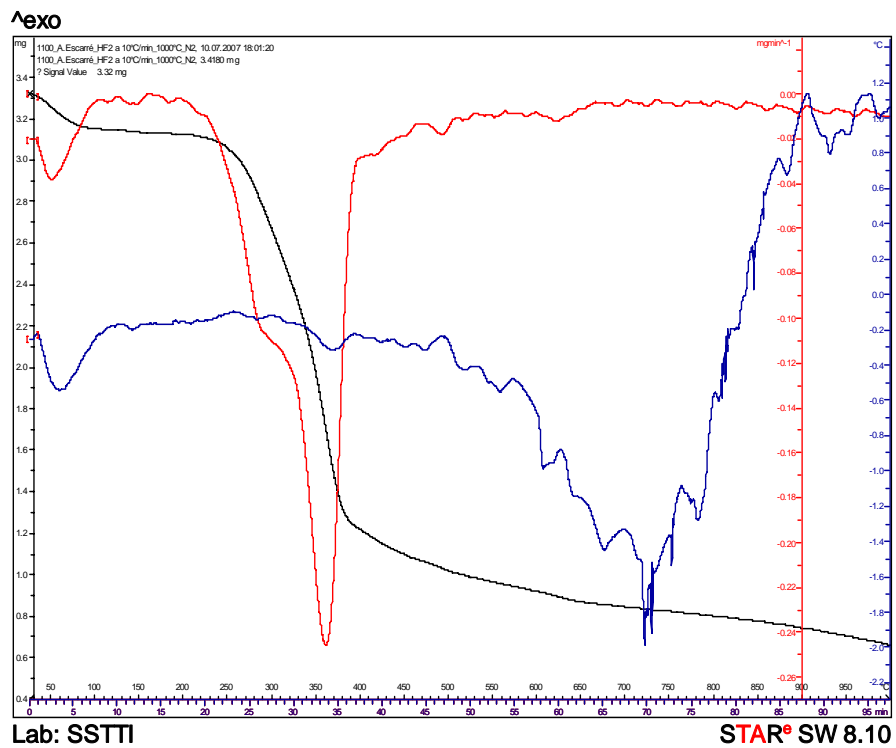
b. Alfa = ,05.

Anexo3

Termogramas de la corteza de *Eucalyptus saligna* Smith extraída con agua a temperatura ambiente

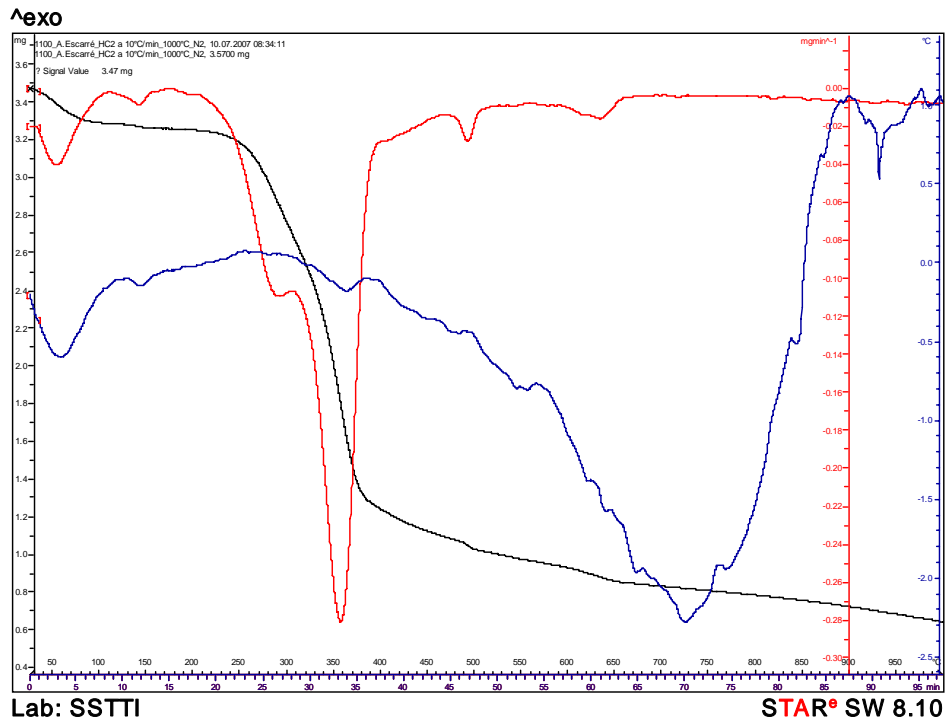


Termogramas de la corteza de *Eucalyptus pellita* Smith extraída con agua a temperatura ambiente

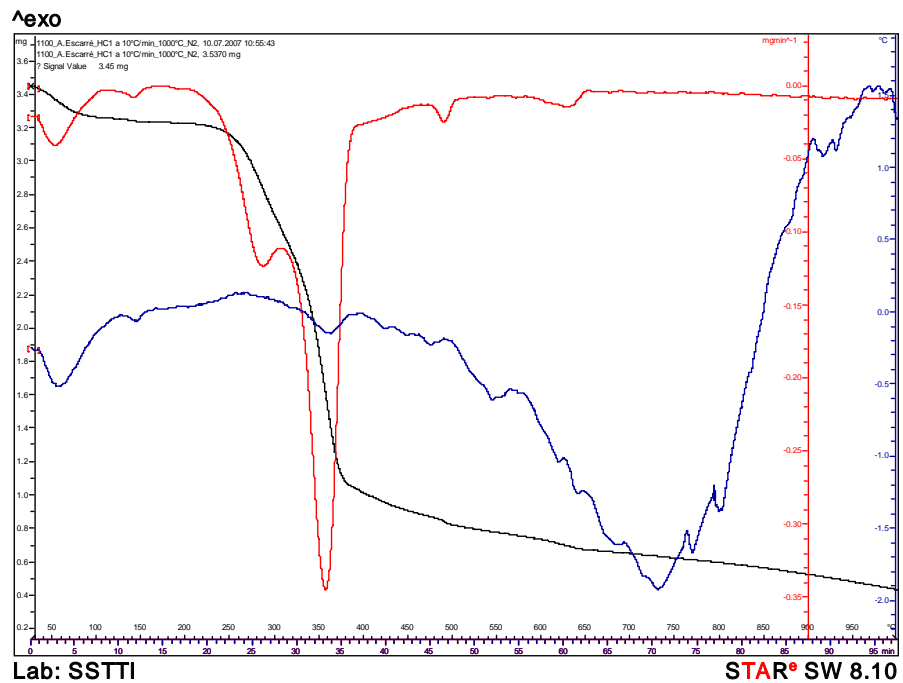


Anexo 4

Termogramas de la corteza de *Eucalyptus pellita* F. Muell extraída con agua a 95°C.

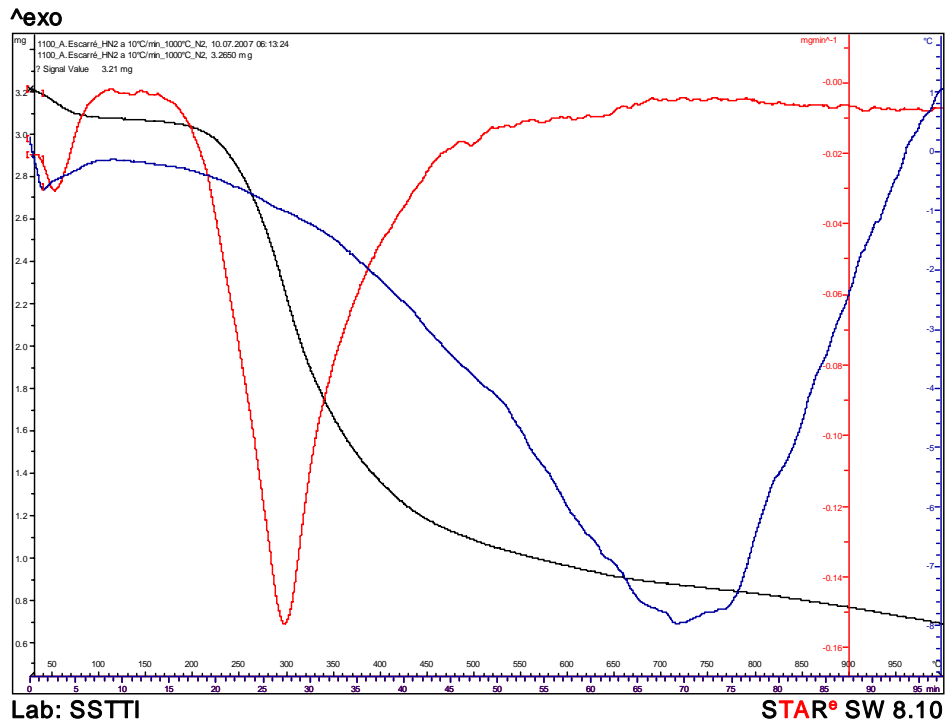


Termogramas de la corteza de *Eucalyptus saligna* Smith extraída con agua a 95°C

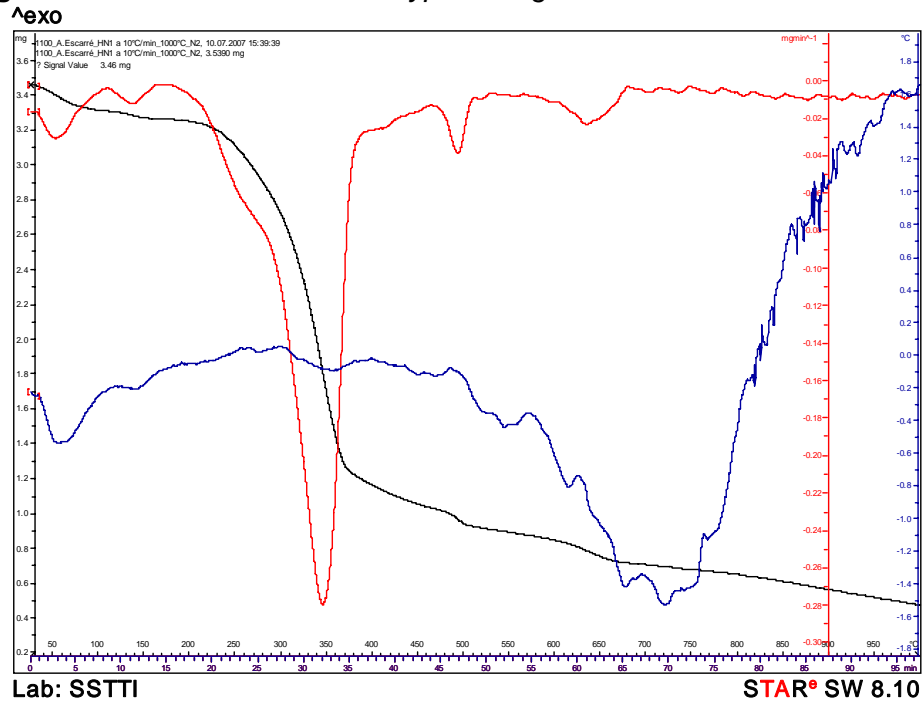


Anexo 5

Termogramas de la corteza de *Eucalyptus pellita* F. Muell extraída con NaOH al 1%



Termogramas de la corteza de *Eucalyptus saligna* Smith extraída con NaOH al 1%,



Anexo 6
ANOVA para propiedades fisicoquímicas iniciales del compost

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
VAR00001	Inter-grupos	,005	1	,005	,531	,506
	Intra-grupos	,036	4	,009		
	Total	,041	5			
VAR00002	Inter-grupos	5,960	1	5,960	271,942	,000
	Intra-grupos	,088	4	,022		
	Total	6,048	5			
VAR00003	Inter-grupos	7,843	1	7,843	219,290	,000
	Intra-grupos	,143	4	,036		
	Total	7,986	5			
VAR00004	Inter-grupos	8,213	1	8,213	157,647	,000
	Intra-grupos	,208	4	,052		
	Total	8,422	5			
VAR00005	Inter-grupos	280,030	1	280,030	22828,534	,000
	Intra-grupos	,049	4	,012		
	Total	280,079	5			
VAR00006	Inter-grupos	849008,167	1	849008,167	63675,613	,000
	Intra-grupos	53,333	4	13,333		
	Total	849061,500	5			
VAR00007	Inter-grupos	39,168	1	39,168	862,735	,000
	Intra-grupos	,182	4	,045		
	Total	39,350	5			
VAR00008	Inter-grupos	1,460	1	1,460	433,743	,000
	Intra-grupos	,013	4	,003		
	Total	1,474	5			

Anexo 7
ANOVA para propiedades fisicoquímicas finales del compost

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
VAR00002	Inter-grupos	,047	1	,047	3,551	,133
	Intra-grupos	,053	4	,013		
	Total	,100	5			
VAR00003	Inter-grupos	187974,000	1	187974,000	16585,941	,000
	Intra-grupos	45,333	4	11,333		
	Total	188019,333	5			
VAR00004	Inter-grupos	346,712	1	346,712	5562,225	,000
	Intra-grupos	,249	4	,062		
	Total	346,961	5			
VAR00005	Inter-grupos	,052	1	,052	31,360	,005
	Intra-grupos	,007	4	,002		
	Total	,059	5			
VAR00006	Inter-grupos	9,652	1	9,652	5791,210	,000
	Intra-grupos	,007	4	,002		
	Total	9,659	5			
VAR00007	Inter-grupos	162,656	1	162,656	45392,447	,000
	Intra-grupos	,014	4	,004		
	Total	162,671	5			
VAR00008	Inter-grupos	,640	1	,640	82,793	,001
	Intra-grupos	,031	4	,008		
	Total	,671	5			
VAR00009	Inter-grupos	,004	1	,004	,826	,415
	Intra-grupos	,021	4	,005		
	Total	,025	5			
VAR00010	Inter-grupos	,007	1	,007	3,021	,157
	Intra-grupos	,010	4	,002		
	Total	,017	5			

Anexo8.

Correlaciones

	m(seca área)	LANTA	QI	HOJAS	DIAM	V_RAIZ	T_CUT	RAIZ	RAIZ_F	FOLIA	ESBELT	ALTURA	BAP	PH_MD	TALLO	PH_ALB	PAPR	LRAIZ	RAIZ_G
m(seca) Correlación	1,000	**	**	**	**	*	**	*	*	*									
PLANTA Correlación	,961*	1,000	**	**	*	**	*	**	**	*									
QI Correlación	,923*	,966*	1,000	*	**	**		*	**										
HOJAS Correlación	,989*	,941*	,891*	1,000	*	*	*			*									
DIAM Correlación	,921*	,865*	,918*	,912*	1,000														
V_RAIZ Correlación	,880*	,953*	,936*	,819*	,766	1,000	*	**	**	*									
T_CUT Correlación	-,933*	-,862*	-,782	-,903*	-,762	-,832*	1,000			**									
RAIZ Correlación	,812*	,942*	,917*	,783	,705	,941*	-,686	1,000	**										
RAIZ_F Correlación	,806	,935*	,918*	,760	,694	,969*	-,710	,991*	1,000										
A_FOLIA Correlación	-,915*	-,851*	-,762	-,875*	-,749	-,842*	,970*	-,683	-,710	1,000		*							
ESBELT Correlación	-,787	-,729	-,736	-,800	-,739	-,622	,772	-,581	-,578	,608	1,000								
ALTURA Correlación	,758	,663	,643	,689	,717	,702	-,783	,479	,525	-,888*	-,331	1,000							
BAP Correlación	-,506	-,672	-,763	-,497	-,614	-,645	,215	-,803	-,767	,228	,327	-,180	1,000						
PH_MD Correlación	-,379	-,355	-,168	-,327	-,072	-,447	,586	-,288	-,332	,698	-,013	-,630	-,240	1,000	*				
TALLO Correlación	,116	,058	-,132	,074	-,225	,159	-,442	-,019	,041	-,460	-,028	,312	,591	-,860*	1,000				
PH_ALB Correlación	-,141	-,014	-,056	-,257	-,301	,256	-,008	,143	,227	-,152	,469	,271	,048	-,616	,495	1,000			
PAPR Correlación	,230	-,043	-,103	,259	,206	-,156	-,392	-,369	-,358	-,360	-,289	,390	,630	-,257	,395	-,382	1,000		
LRAIZ Correlación	-,131	-,033	-,122	-,051	-,136	-,159	,340	,089	-,012	,213	,465	-,213	-,300	,010	-,299	-,047	-,383	1,000	
RAIZ_G Correlación	,563	,658	,593	,642	,522	,469	-,316	,703	,604	-,305	-,397	,063	-,722	,047	-,334	-,366	-,301	,611	1,000

**La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

*La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).