

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA



INFLUENCIA DEL TAMAÑO INICIAL DE PARTICULAS
EN EL PROCESO DE COMPOSTACION AEROBICA
DE CORTEZA DE Pinus radiata D. Don



ROBERTO EDGARDO CABRERA TORRES

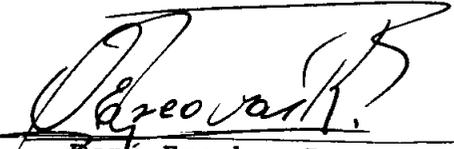
MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL

CONCEPCION - CHILE

1995

INFLUENCIA DEL TAMAÑO INICIAL DE PARTICULAS
EN EL PROCESO DE COMPOSTACION AEROBICA
DE CORTEZA DE Pinus radiata D. Don

Profesor Asesor

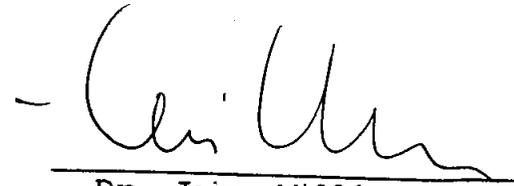

René Escobar R.
Profesor Asociado
Técnico Forestal

Profesor Asesor




Gastón González V.
Profesor Titular
Ingeniero Agrónomo, M. Sc.


Miguel Espinosa B.
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal, Ph. D.
Director Departamento
Silvicultura


Dr. Jaime Millán H.
Profesor Titular
Ingeniero Forestal
Decano Facultad
de Ciencias Forestales

A Irene y Roberto

A Cecilia

A Claudia, Marcelo y Ricardo



AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a todos aquellos que hicieron posible este estudio. En primer lugar a Don René Escobar R. y a Don Gastón González V. gestores de la idea y profesores asesores de esta tesis.

También expreso mi más sincero reconocimiento a la empresa Sociedad Forestal Millalemu S.A., representada por los Srs. Arturo Aylwin V. y Leopoldo Quezada J., sin cuyo patrocinio esta investigación no habría sido posible. Especialmente agradezco a Leopoldo por su visión, eficiencia, permanente apoyo, oportunos consejos y lo más importante, su amistad.

A la Sra. Pilar Lanuza A., profesora de estadística, por su valiosa ayuda en el diseño del estudio y posterior supervisión. Además de los valores, que sin saber me inculcó.

A Cecilia, por su inagotable paciencia en la transcripción de informes a lo largo de mi carrera y este estudio en particular.

A Cristina Villagrán y Antonio Avaria, por conformar como grupo de estudios y como amigos, el complemento exacto en el momento justo. Sin los cuales, tal vez, no hubiera llegado a este momento.

A todos aquellos que me ayudaron en la instalación y supervisión del ensayo como Sonia, Carlos, José, Víctor, Ramón, Julio y Demetrio.

A Andres Leiva por sus valiosos conocimientos en computación y su constante ayuda en la elaboración del documento final.

A la sorpresiva y desinteresada ayuda de Belisario Candia.



INDICE DE MATERIAS

	Pag.
I. INTRODUCCION	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo General	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1 Definición de Compost	3
2.2 Compostaje	3
2.2.1 Material Orgánico	4
2.2.2 Microorganismos	7
2.2.3 Humedad	9
2.2.4 Oxígeno	9
2.2.5 Otros Aditivos	10
2.3 Preparación y compostaje de corteza de pino ...	11
2.3.1 La Corteza	12
2.3.2 Importancia económica de la corteza	13
2.3.3 Composición de la corteza	14
2.3.4 Molido de corteza	15
2.3.5 Tamaño de partículas	17
2.3.6 Tamaño de pila	20
2.4 Cambios dentro de la pila de compostación	20
2.4.1 Relación C/N	21
2.4.2 Temperatura	23
2.4.3 pH	26
2.4.4 Toxinas y patógenos	28

III.	MATERIALES Y METODOS	29
3.1	Materiales	29
3.2	Métodos	30
3.2.1	Descripción del ensayo	30
3.2.2	Tratamientos	31
3.2.3	Diseño experimental	32
3.2.4	Mediciones y análisis	33
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	36
4.1	Materia prima	36
4.1.1	Granulometría de la materia prima	37
4.2	Valores obtenidos a lo largo del proceso de compostación	38
4.2.1	pH	38
4.2.2	Relación C/N	40
4.2.3	Granulometría	42
4.2.4	Temperatura	47
4.2.5	Otras mediciones	51
V.	CONCLUSIONES	53
VI	RESUMEN	55
6.1	SUMMARY	57
VII	BIBLIOGRAFIA	59

INDICE DE TABLAS

TABLA N°

En el texto

1	Composición de la materia orgánica	6
2	Organismos presentes en la producción de compost	8
3	Composición granulométrica de la corteza procedente de máquinas astilladoras	16
4	Distribución del tamaño de partículas de corteza, de tres especies de pino, mediante el uso de cuatro diferentes tamices en un molino de martillos	19
5	Composición aproximada de algunos materiales utilizables en la elaboración de compost	22
6	Composición química de la corteza utilizada en la elaboración de los tratamientos	37
7	Distribución granulométrica porcentual de la materia prima, en sus distintos estados	37
8	Valores de pH para los nueve tratamientos en estudio	39
9	Relación C/N para cada uno de los tratamientos	30
10	Distribución porcentual del tamaño de partículas, para cada uno de los niveles del factor B	42
11	Composición granulométrica de los tratamientos	43
12	Variación porcentual de la distribución de partículas de los tratamientos, respecto de la inicial	44
13	Variación del porcentaje inicial de nitrógeno, en comparación con los valores finales de éste	52

En el apendice

I	Porcentaje de humedad medido en cuatro oportunidades a lo largo del ensayo.....	63
II	Valores finales de variables como C, P, K, Mn, Fe, Cu, conductividad eléctrica y materia orgánica.....	64



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°

En el texto

1	El compostaje	5
2	Movimiento del aire al interior de la pila de compostación, efecto chimenea	11
3	Esquema del tambor de un molino de martillos	18
4	Variación de temperatura en función del tiempo, en una pila de compostación	24
5	Variación del pH en una pila de compostación	27
6	Cambios de pH en pilas de compostación de corteza de pino con diferentes dosis de urea	28
7	Relación C/N de cada tratamiento agrupadas por dosis de urea	41
8a	Porcentaje de participación inicial y final de los tratamientos 1, 2, 3 para los distintos rangos de distribución de partículas	45
8b	Porcentaje de participación inicial y final de los tratamientos 4, 5, 6 para los distintos rangos de distribución de partículas	46
8c	Porcentaje de participación inicial y final de los tratamientos 7, 8, 9 para los distintos rangos de distribución de partículas	46
9a	Evolución de la temperatura durante la elaboración del sustrato, para el nivel 0 de tamaño de partículas y dosis variable de urea ..	48

9b	Evolución de la temperatura durante la elaboración del sustrato, para el nivel 1 de tamaño de partículas y dosis variable de urea	.. 49
9c	Evolución de la temperatura durante la elaboración del sustrato, para el nivel 2 de tamaño de partículas y dosis variable de urea	.. 50



I. INTRODUCCION

Producto del avance del sector forestal chileno y a la industrialización del mismo, hoy en día se generan gran cantidad de desechos (principalmente aserrín y corteza) que por su lenta descomposición contaminan y dificultan los procesos industriales, tanto por el espacio que ocupan como por el costo que genera el trasladarlos a lugares definitivos.

Si bien estos materiales se consideran desechos, no es menos cierto que pueden pasar a ser materias primas para otros procesos y generar otros productos, como es el caso de la corteza de pino para la producción de sustrato.

Por medio de la técnica de compostación aeróbica, se transforma la corteza en un medio de cultivo (sustrato) el cual se caracteriza por ser: aséptico, inerte, de bajo peso, de alta porosidad, de buena retención de humedad, etc., cualidades muy deseadas por los cultivadores de plantas. Sin embargo hay muchas variables que no han sido suficientemente estudiadas y que tienen una incidencia directa en el proceso y por ende en el producto final, tales como: volumen de pilas, altura de pilas, aporte de fertilizantes, tamaño inicial de partículas, etc..

El presente estudio analiza el efecto de dos de estas variables, el tamaño inicial de partículas y la dosis de nitrógeno, las que se presumen íntimamente relacionadas con la velocidad de compostación y la calidad del sustrato generado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Verificar si el tamaño inicial de partículas y la adición de nitrógeno, tienen relación con el proceso de compostación de corteza.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar si el tamaño inicial de partículas influye en la velocidad de compostación.

Determinar cuál es el tamaño inicial de partículas más adecuado en un proceso de compostación de corteza.

Determinar el efecto del tamaño inicial de partículas en las temperaturas alcanzadas durante la compostación.

Determinar el efecto de la adición de nitrógeno, a la forma de urea, en el proceso de compostación.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

La compostación es básicamente un método para acelerar la descomposición de la materia orgánica.

Los chinos, japoneses y otros pueblos asiáticos han estado fabricando compost por lo menos desde hace 4000 años retornando, de esta forma, gran cantidad de los nutrientes extraídos por los cultivos, manteniendo así la fertilidad de los suelos (CSIRO, 1978; FAO, 1979).

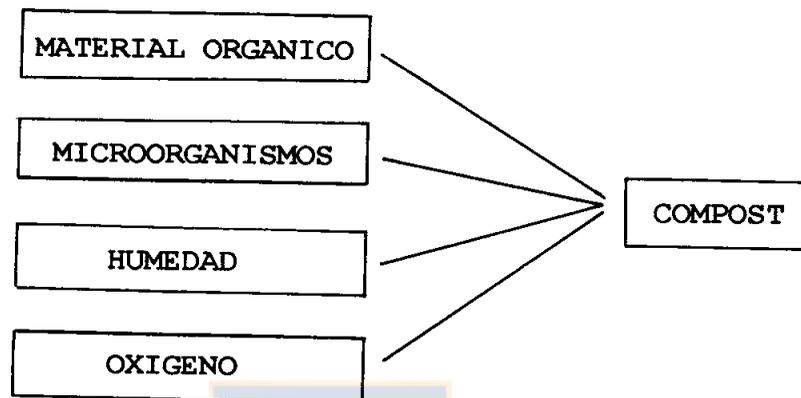
2.1 Definición de compost

El compost corresponde a un abono orgánico producto de un proceso controlado de descomposición biológica aeróbica, que convierte los materiales orgánicos en humus como consecuencia de una compleja interacción de organismos del suelo tales como bacterias, hongos, actinomicetes, lombrices de tierra, ácaros, nemátodos, insectos, etc. (Ruskin, 1981).

2.2 Compostaje

Crawford (1983), citado por Van Shoor et al. (1990), definió la compostación como "La descomposición incompleta artificialmente acelerada de materia orgánica heterogénea, mediante una mezcla de población microbiana en un ambiente aeróbico-húmedo-templado".

La compostación requiere de cuatro elementos básicos para poder realizarse como son (CSIRO, 1978):



Gray y Biddlestone (1981), señalan que el compostaje es un proceso ecológico (Fig. 1) en el cual se alternan dos tipos de poblaciones microbianas presentes en los residuos, procedentes de la atmósfera, del suelo y del agua. Estos microorganismos descomponen los materiales orgánicos siguiendo una secuencia de degradación según la solubilidad en agua que presenten sus constituyentes orgánicos.

2.2.1 Material orgánico.

El material orgánico usado en la compostación basará su calidad en variables como relación C/N (siendo ésta la más importante) además de relación C/P, tamaño de las partículas, etc. (CSIRO, 1978).

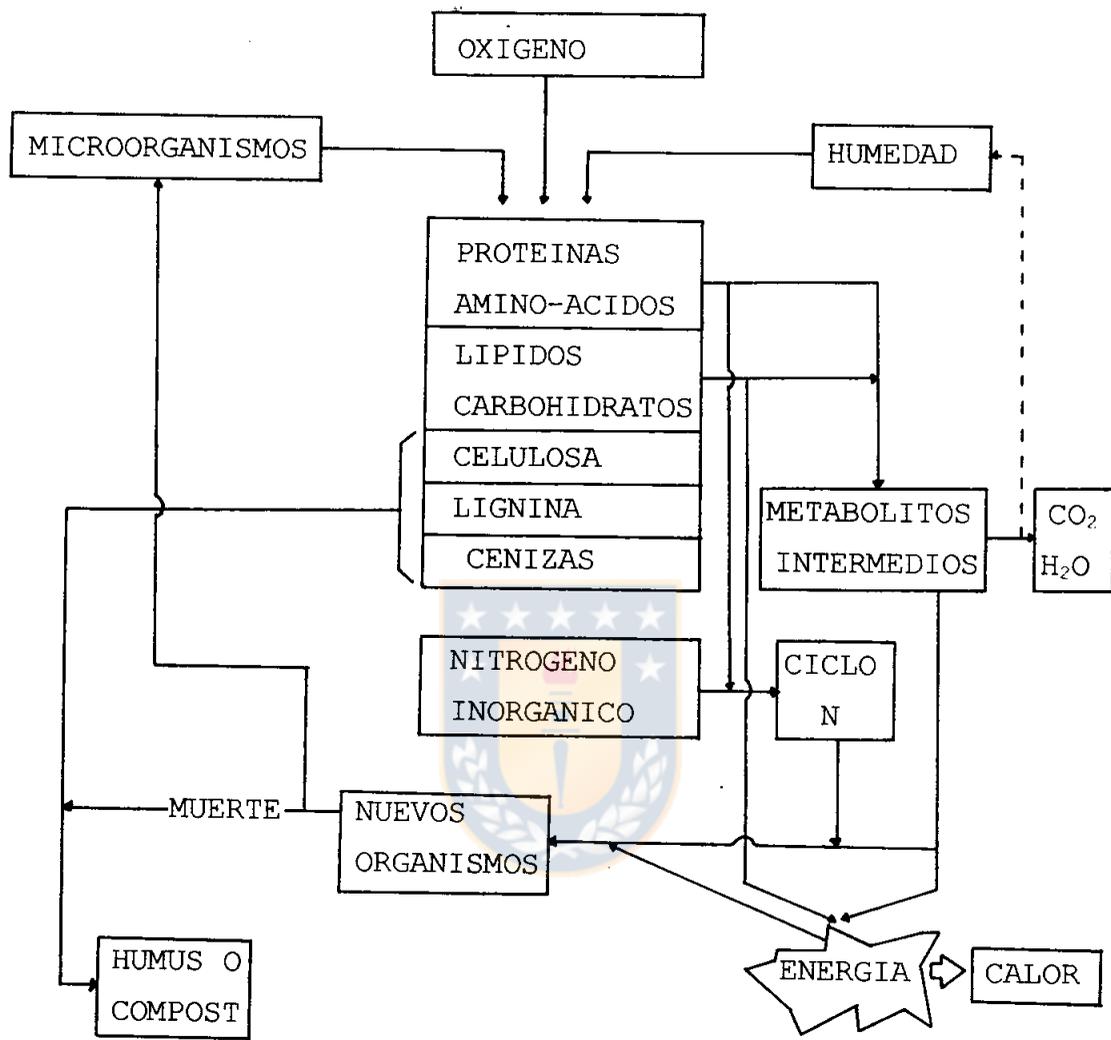


Figura 1. El compostaje (10)

El material orgánico de origen industrial, doméstico o agrario es una mezcla de azúcares, proteínas, hemicelulosa, celulosa, lignina y minerales, en distinta proporción, como lo muestra la Tabla 1. Las fracciones contenidas en el material vegetal dependerán de la edad, tipo de planta y medio ambiente. La materia fresca contiene muchas

substancias solubles en agua, proteínas y minerales. A medida que las plantas envejecen, tienden a retornar minerales al suelo y los compuestos de bajo peso molecular se convierten en compuestos poliméricos de alto peso molecular tales como la hemicelulosa, celulosa y lignina (Dalzell et al., 1991).

TABLA 1. COMPOSICION DE LA MATERIA ORGANICA (5)

Fracción	% en Peso Seco
Azúcar, almidones, urea, sales amoniacales, aminoácidos	2 a 30
Grasas, aceites, ceras	1 a 15
Proteínas	5 a 40
Hemicelulosas	10 a 30
Celulosa	15 a 60
Lignina	5 a 30
Materia Mineral (ceniza)	5 a 30

Algunos compuestos orgánicos tales como azúcares, son de forma simple y fácilmente solubles en agua, por lo que pueden ser rápidamente absorbidos por lo microorganismo para suministro de energía. Las sustancias como hemicelulosa y celulosa, tienen grandes moléculas y primero deben ser partidas por enzimas, para poder ser usadas. La lignina es un material leñoso altamente resistente y sólo se descompone después de un largo periodo (Dalzell et al., 1991).

2.2.2 Microorganismos

Muchas especies de microorganismos, principalmente bacterias, hongos y actinomicetes están involucrados en la descomposición de materia orgánica mediante la utilización de oxígeno, nitrógeno y humedad. Estos microorganismos liberan dióxido de carbono, agua y energía, se reproducen y finalmente mueren (FAO, 1979).

Una vez que las condiciones de humedad y oxígeno son adecuadas la población fungosa comienza a multiplicarse y en 48 horas la pila habrá pasado de la fase mesofílica a la termofílica. Las bacterias que también están presentes se hacen cargo del proceso en esta segunda fase (Van Schoor et al., 1990).

Además de los microorganismos, hay otros organismos implicados en el proceso de compostaje (Tabla 2), cada uno de los cuales es apropiado para un medio de duración relativamente limitado y pertenecen tanto al reino vegetal como al animal.

También estos organismos se pueden dividir según el rango de temperatura en el cual actúan en: Psicrófilos (menos de 20 °C) representados por hongos, ácaros, termitas, etc.; Mesófilos (entre 20 -40 °C) representados por hongos y bacterias; Termófilos (entre 40 - 75 °C) principalmente bacterias (Dalzell et al., 1991).

TABLA 2. ORGANISMOS PRESENTES EN LA PRODUCCION DE COMPOST (5)

Tipo de organismos		Número por tipo de compost húmedo
Microflora	Bacterias	10^8 - 10^9
	Actinomicetes	10^5 - 10^8
	Hongos, mohos y levaduras	10^4 - 10^6
Microfauna	Protozoos	10^4 - 10^5
Macroflora	Hongos (champiñones y setas)	
Macrofauna	Acaros, arañas, hormigas, termitas, miriápodos, gusanos, etc.	

Aunque las bacterias están presentes en cantidades muy grandes, son de tamaño muy pequeño y constituyen menos de la mitad de la masa de los microorganismos. Los actinomicetes se desarrollan mucho más lentamente que la mayoría de las bacterias y hongos, y son mucho menos activos en las etapas tempranas del compostaje. El color blanco o gris típico de estos microorganismos es claramente visible a unos 10 centímetros por debajo de la superficie de la masa en compostaje (Bertoldi, 1983 citado por Dalzell et al., 1991).

Los hongos son muy importantes en la descomposición de la celulosa, que es uno de los compuestos más resistentes de la materia orgánica. La temperatura es una consideración

importante, dado que los hongos morirán cuando esta se eleve por sobre los 55 - 60 °C y reinvadirán, desde las zonas más frías, cuando la temperatura baje (Van Schoor et al., 1990).

2.2.3 Humedad

El contenido de humedad en una pila de compostaje es muy importante; una humedad por debajo del 30 - 40 % base húmeda (BH) implica una lenta descomposición, que favorece la volatilización del amonio. Cuando la humedad es muy alta, por sobre el 60 - 70 %, los espacios entre partículas se saturan de agua impidiendo la entrada de aire y por lo tanto de oxígeno, tornándose la pila anaeróbica. El contenido óptimo de humedad se encuentra entre 55 - 60 % base húmeda (CSIRO, 1978; Fiabane y Meléndez, 1987; Dalzell et al., 1991). Gotaas (1956) citado por Fiabane y Meléndez (1987), indica que niveles muy altos de humedad producen pérdidas de nitrógeno por lixiviación.

2.2.4 Oxígeno

Un suministro adecuado de aire a todas las partes de una pila en compostaje es esencial para el abastecimiento de oxígeno a los organismos y para eliminar el dióxido de carbono producido en el proceso (Dalzell et al., 1991). Los microorganismos activos deseados en la compostación son aeróbicos y por lo tanto necesitan gran cantidad de oxígeno para su crecimiento y rápida multiplicación, si hay poco oxígeno se pueden producir ácidos orgánicos tóxicos y la

pila toma mal olor. Los niveles óptimos de oxígeno están entre el 5 y 12 % (Hoitink y Poole, 1980). Aunque Poincelot (1975 citado por Fiabane y Melendez (1987), señala que el nivel de oxígeno puede bajar hasta 0.5 % con algunos materiales, sin que se produzcan condiciones de anaerobiosis.

La aireación se logra por el movimiento natural del aire hacia el interior de la pila de compostaje, mediante el volteo periódico del material, manual o mecánicamente, o bien insuflando aire al interior de la pila por medio de un ventilador. El movimiento del aire dentro de la pila sigue el efecto "chimenea" (Figura 2), en el que las corrientes cálidas de convección se elevan por el interior y hacia el exterior de la pila (Dalzell et al., 1991).

2.2.5 Otros aditivos

El proceso de compostaje depende de la acción de los microorganismos que requieren una fuente de carbono que les proporcione energía y material para nuevas células, elemento aportado por el material orgánico como ya se analizó, junto a un suministro de nitrógeno para proteínas celulares. Sin embargo, se pueden requerir otros elementos como fósforo, que podría reducir la pérdida de nitrógeno a la forma de amoníaco (Dalzell et al., 1991), calcio, potasio y elementos trazas para obtener tasas de máxima descomposición, aumento de temperatura y mejoramiento en la cantidad microbiana. Sin embargo, las recomendaciones generales son que 3 kg de urea por metro cúbico de corteza

es suficiente para una descomposición aceptable (Van Schoor et al., 1990).

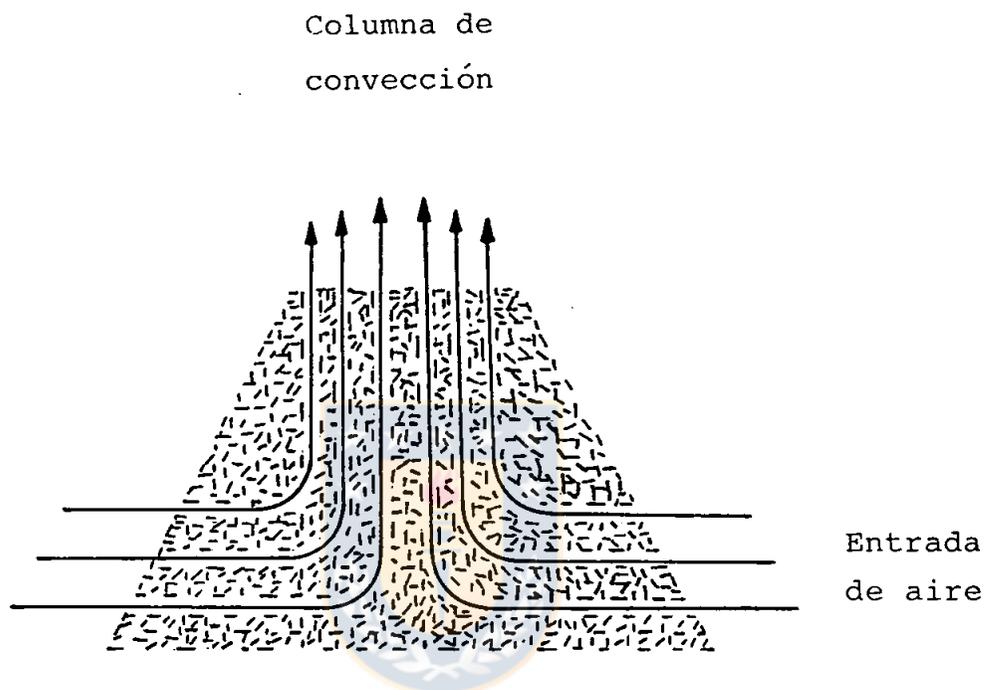


Figura 2. Movimiento del aire al interior de la pila de compostación, efecto chimenea.

2.3 Preparación y compostaje de corteza de pino

En general, el proceso de compostaje se usa para transformar materiales de desecho en un producto útil. Entre estos materiales de desecho se encuentra la corteza de pino, la que como materia prima para distintos productos está subutilizada, siendo principalmente ocupada en la obtención de taninos curtientes y como material combustible

en calderas de secado, en los grandes aserraderos (Toval, 1983).

También la corteza de eucalipto ha sido compostada en el Brasil, con muy buenos resultados al compararla con sustratos como la vermiculita mineral, tradicionalmente utilizada por los productores de plantas de eucalipto, con una notable disminución de los costos (Sheps y Souza, 1988 citados por Bergemann et al., 1989). Además ha sido utilizada, previamente compostada, sola y en combinación con ceniza de eucalipto en el enraizamiento de esquejes de de ésta misma especie, con resultados que superan a productos comerciales en base a vermiculita, tanto en la cantidad de plantulas aprovechables como en el vigor de las mismas (Filho y Balloni, 1988).

2.3.1 La corteza

Con suma frecuencia se utiliza el término corteza no significando necesariamente para todos lo mismo; desde un punto de vista anatómico, al descortezar un árbol se extrae todo lo que se ubica al exterior del xilema secundario (Maggs, 1985 citado por Van Schoor et al., 1990).

Esau (1985), en cambio, sugiere que el término corteza se aplica a todos lo tejidos que quedan por fuera del cambium vascular, y más específicamente para designar el tejido que se acumula en el eje de la planta, como resultado de la actividad del felógeno, que es quien produce el suber hacia el exterior y la felodermis hacia el interior,

constituyendo estos tres últimos (felógeno, súber y felodermis) la peridermis. Por lo tanto, de acuerdo a esta última acepción, la corteza estaría formada por el súber y la células muertas separadas por la peridermis. Aunque el vocablo técnico para este último conjunto de capas celulares externas es ritidoma según De Bary (1984) citado por Esau (1985).

Según Toval (1983), la corteza es un material interesante para ser usado como sustrato, dado su bajo costo; disponibilidad; bajo peso específico (0.2378 kg/l) el que se asocia principalmente al transporte y manipulación de la planta en el sitio de plantación; porosidad, la que favorece la formación de un sistema radicular fibroso y ramificado en todas direcciones; pH apropiado para la mayoría de los cultivos; asepsia, que se manifiesta en la ausencia de semillas de malezas y muchos tipos de hongos.

2.3.2 Importancia económica de la corteza.

Desde el punto de vista de la obtención de materia prima para el proceso de compostación, no se puede dejar de lado el potencial que en el mediano plazo tendrá la producción de corteza en el país. Si se piensa que en este momento Chile tiene una superficie total de plantaciones de Pinus radiata (D. Don) del orden de 1.3 millones de hectáreas (INFOR-CORFO, 1987C), en una rotación de estas plantaciones se producirán aproximadamente 520 millones de m³ de madera en pie (asumiendo una tasa de crecimiento de 20 m³/ha/año y una rotación de 20 años). Ahora bien, si aproximadamente

el 15 % del volumen del árbol lo constituye la corteza (Toval, 1983; Van Schoor et al., 1990), se tiene un volumen potencial existente de corteza, del orden de los 78 millones de m³.

En lo que respecta al volumen anual de cosecha de pino, esta se distribuye como sigue (INFOR-CORFO, 1987A; INFOR-CORFO, 1987B):

Madera aserrada	4.976.100	m ³
Pulpa y papel	3.394.800	m ³
Tableros y chapas	388.700	m ³
Madera y trozos	2.335.000	m ³
Astillas	1.100	m ³

Ahora bien, si se descuenta la madera en trozos (rollizos de exportación) y las astillas, quedan 8.759.600 m³ de madera susceptibles de ser descortezados en el país, con un volumen estimado de 1.313.940 m³ de corteza anual.

2.3.3 Composición de la corteza

Mc Ginnis y Parikh (1975) citados por Van Schoor et al. (1990) entregaron la siguiente composición para corteza de pino taeda: extractos solubles neutrales (17.3 %), extractos solubles alcalinos (20.8 %), lignina después de la extracción alcalina (20.4 %), holocelulosa (41.7 %) y cenizas (0.7 %). De especial interés son los extractos solubles neutrales ya que ellos, se cree, son los responsables de la fitotoxicidad de la corteza.

La composición de la corteza varía en función de aspectos como la especie y edad del árbol, el tipo de suelo en que este creció, etc.. El contenido de celulosa es mayor en árboles jóvenes y en ramas; y en la corteza interna que en la externa. La mayoría de las cortezas contienen ligeramente más lignina que celulosa, siendo la primera muy resistente a la degradación enzimática y por lo tanto es ella quien, por su lenta descomposición, forma un sustrato de estructura estable (Van Schoor et al., 1990).

Otros compuestos importantes en la corteza son los taninos, los que dan ese olor característico a la corteza fresca de pino (Toval, 1983). Su importancia radica en que son tóxicos para las plantas que crecen en el sustrato generado, pero también es cierto que estos taninos son solubles en agua y por lo tanto pueden ser lixiviados, además de que se desnaturalizan mediante calor.

Solbraa (1986) citado por Van Schoor et al. (1990), estableció que la concentración de todos los nutrientes de plantas, con excepción del nitrógeno y fósforo, son suficientes para cubrir, por un periodo considerable, los requerimientos de microorganismos y de plantas desarrolladas en el sustrato generado a partir de corteza.

2.3.4 Molido de corteza

Una modalidad, es usar corteza que se obtiene directamente de máquinas astilladoras en faenas de aserrío. En este proceso lo que ocurre es que los lampazos o costaneras, que

surgen producto del aserrío, son astillados para celulosa. Debido al distinto peso específico entre corteza y madera, estas dos partes se separan espontáneamente quedando la corteza con una proporción muy pequeña de partículas menores de madera. La composición granulométrica de la corteza generada de estas máquinas, medida en 5 muestras, se observa en la Tabla 3 (Toval, 1983).

La otra posibilidad es utilizar corteza producto del descortezado de trozas destinadas a madera aserrada o pulpa; en este caso se debe realizar el molido de la corteza, ya que más de un 40% de las partículas de esta sobrepasan los 2.5 cm de diámetro, encontrándose trozos de hasta 30 cm de longitud.

**TABLA 3. COMPOSICION GRANULOMETRICA DE LA CORTEZA
PROCEDENTE DE MAQUINAS ASTILLADORAS (18)**

Part. (mm)	< 0.5	0.1-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-3.0	> 3.0
% Peso Total	1.85	15.92	31.50	16.40	23.46	7.42	3.45
Desv. Típica	0.29	0.98	1.14	0.52	1.16	0.97	1.62

Uno de los equipos más usados para moler la corteza son los molinos de martillo, los cuales ya se fabrican en el país especialmente diseñados para tal efecto. Una de las ventajas que este equipo ofrece, es que su tamiz interior (Fig. 3), adosado perimetralmente en el tambor es intercambiable, por

lo que la distribución granulométrica que entrega el molino puede ser manejada a gusto del usuario.

Van Schoor et al. (1990) sostienen que el tamaño de partículas generado por la molienda depende de:

- El método de descortezado en terreno.
- La variada naturaleza de corteza de las distintas especies de pino y la forma en que estas partículas son trituradas en el molino de martillos.
- La composición porcentual de especies en la mezcla.
- El tamaño del tamiz del molino de martillos.
- La velocidad y agudeza de los martillos.
- El periodo de tiempo que se deja madurar la corteza antes del molido.

Mc Kenzie (1985) citado por Van Schoor et al. (1990), probó cuatro tamaños de tamiz de molino de martillos (0.635; 1.27; 2.54 y 5.08 cm) y verificó la distribución de tamaño de partículas que cada uno generaba, para lo cual utilizó corteza de tres especies de pino. Los valores obtenidos por Mc Kenzie se muestran en la Tabla 4.

2.3.5 Tamaño de partículas

Dalzell et al. (1991) sostienen que, cuanto más pequeño sea el tamaño de las partículas del material orgánico utilizado, mayor será el área superficial disponible para el ataque de los microorganismos. Sin embargo, las partículas muy pequeñas tienden a compactarse rápidamente,

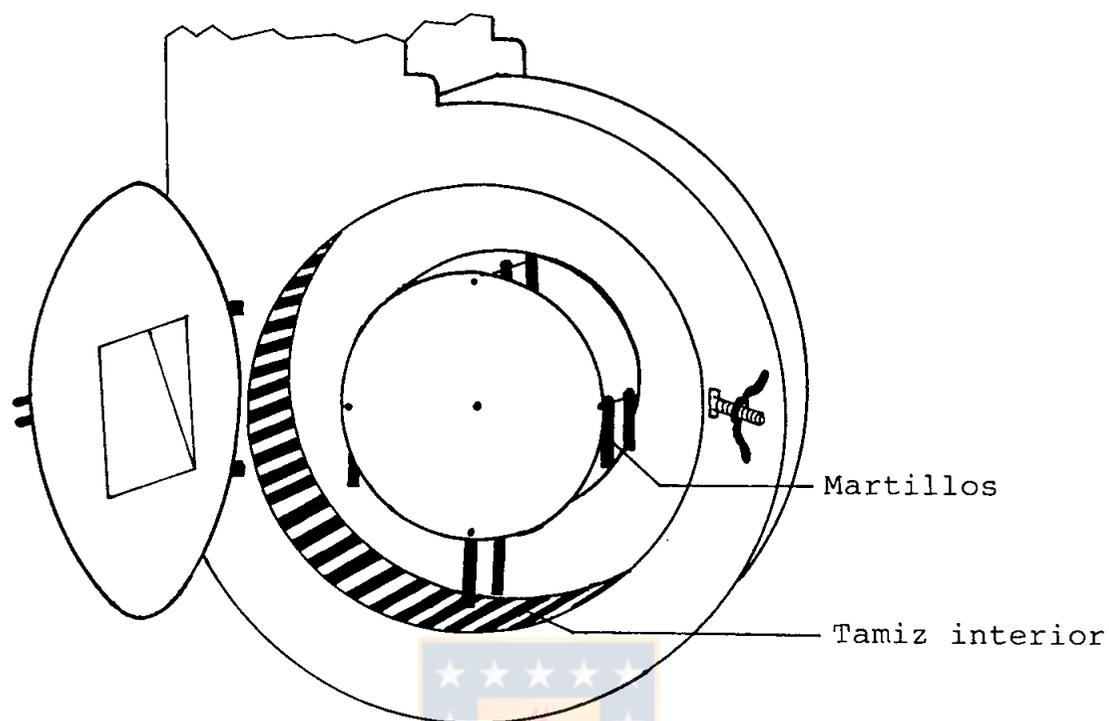


Figura 3. Esquema del tambor de un molino de martillos.

con lo que los espacios entre ellas serán pequeños y estrechos, esto impide el movimiento del aire hacia el interior de la pila y la salida del dióxido de carbono. Toval (1983), sostiene que además las partículas pequeñas de corteza repelen el agua y forman canalículos a través de los cuales, por gravedad, esta es drenada al exterior de la pila, con lo cual los fertilizantes, que eventualmente se apliquen, son lixiviados.

TABLA 4. DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE PARTICULAS DE CORTEZA, DE TRES ESPECIES DE PINO, OBTENIDAS MEDIANTE EL USO DE CUATRO DIFERENTES TAMICES EN UN MOLINO DE MARTILLOS (19)

Tamañ. de Tamiz	Especie de Pino	Fracción de Tamizado: % del Total (mm)					
		>8	8-5.15	5.15-2	2-1	1-0.5	<0.5
50mm	Taeda	37.1	11.2	12.7	6.5	1.2	1.2
	Patula	41.0	15.6	8.8	3.5	0.4	0.8
	Elliottii	30.3	15.1	13.8	7.7	1.2	1.2
25mm	Taeda	21.1	18.3	14.4	10.0	3.3	2.8
	Patula	22.3	47.4	11.7	7.5	3.9	6.7
	Elliottii	28.1	50.0	10.3	6.1	2.6	2.8
12.5mm	Taeda	2.3	39.8	20.0	17.4	10.8	9.7
	Patula	1.4	46.0	20.9	15.1	8.3	8.3
	Elliottii	3.0	54.4	21.7	14.0	4.3	2.6
6.3mm	Taeda	0.3	13.2	22.7	26.7	16.8	20.4
	Patula	0.4	26.8	35.0	26.4	7.9	3.5
	Elliottii	0.4	18.4	34.7	27.7	11.8	7.0

Por otra parte, si el tamaño de partículas es demasiado grande, el área superficial para el ataque de microorganismos se verá seriamente reducido, con lo que el proceso de compostación disminuye pudiendo paralizarse totalmente (Toval, 1983; Van Schoor et al., 1990).

Por lo tanto la convicción generalizada es que una pila de compostaje debe estar formada por una combinación de tamaños de partículas. Van Schoor et al. (1990), sugieren que un grado aceptable de compostación se obtiene moliendo la corteza con un molino de martillos con tamiz de 25 a 50 mm, lo que da un tamaño de partículas de 30 mm y menores.

2.3.6 Tamaño de pila

El tamaño de las pilas de compostación esta dado por el tipo de material orgánico que se quiera procesar y el clima del lugar en el cual se está compostando (CSIRO, 1978).

Materiales de desecho con relación C/N cercanas al óptimo (entre 25:1 y 30:1) ricos en materia orgánica, pueden compostarse con volúmenes hasta algo menores de 1 m³, en climas como el verano australiano (CSIRO, 1978).

En materiales más estériles, como la corteza de pino, el tamaño de las pilas es un factor crítico para asegurar una aireación adecuada y la conservación del calor. Pilas demasiado pequeñas, comparadas con pilas de gran tamaño, pierden calor debido a que su relación superficie/volumen es mayor.

Cuando se usa maquinaria para voltear las pilas, se recomienda para éstas, dimensiones de 3-4 m de altura, alrededor de 4 m de base y 2 m de ancho en la parte superior, con un largo indefinido y un volumen mínimo de 10 m³ (Van Schoor et al., 1990).

2.4 Cambios dentro de la pila de compostación

La eficacia y rapidez con que se lleve a cabo el proceso de compostación, estará directamente relacionada con el control que se tenga sobre variables como relación C/N, temperatura, pH, toxinas, patógenos, etc..

2.4.1 Relación C/N

La relación C/N está íntimamente ligada con la actividad microbiana, que se desarrolla tanto en el proceso de compostación como en el sustrato generado a partir de esta. Aunque el requerimiento óptimo de nitrógeno depende del material orgánico utilizado (Tabla 5) y del tipo de microorganismos que participan en la descomposición, se recomienda en general iniciar el compostaje con una relación C/N alrededor de 35:1 (Poincelot, 1975 citado por Fiabane y Melendez, 1987).

La corteza de pino radiata tiene una relación C/N de alrededor de 200:1, pudiendo llegar hasta 450:1 para el caso de Sud Africa (Maggs, 1985 citado por Van Schoor et al., 1990).

Yerkes y Markstrom (1968), redujeron la relación C/N de corteza de pino ponderosa de 200:1 a 24:1, adicionando 20 kg de urea al 32% de N por m³ de corteza, en un lapso de nueve semanas.

Dalzell et al. (1991), sugieren hacer una mezcla de diferentes materiales de distinta relación C/N (Tabla 5), cuando el material principal que interesa compostar es de una alta relación C/N, como es el caso de la corteza, también sugieren añadir a las pilas nitrógeno en forma de fertilizantes orgánicos, como la urea o nitrato amónico.

TABLA 5. COMPOSICION APROXIMADA DE ALGUNOS MATERIALES UTILIZABLES EN LA ELABORACION DE COMPOST (5)

Materiales	% Nitrógeno sobre peso seco	Relación C/N
Harina de pescado	4 - 10	4 - 5
Fangos activados	5 - 4	6
Hierba cortada	2 - 4	12
Paja de trigo	0.6	80
Hojas	0.4 - 1.0	40 - 80
Restos de remolacha	0.3	150
Aserrín	0.1	500

Van Schoor et al. (1990), plantean que una compostación inadecuada de corteza, con baja reducción de la relación C/N en el sustrato generado, requerirá una adición extra de nitrógeno para satisfacer tanto la demanda de microorganismos, aún muy activos en el sustrato, como la demanda de las plantas cultivadas en éste.

El compostaje permite aumentar el porcentaje de nitrógeno orgánico en la pila, debido a la inmovilización del nitrógeno mineral por parte de los microorganismos y por fijación de nitrógeno atmosférico (Carvallo, 1956; Howard, 1946 citado por Fiabane y Meléndez, 1987).

Gotaas (1956) citado por Fiabane y Meléndez (1987), señala que las pérdidas de nitrógeno durante la descomposición de la materia orgánica, se encuentran afectadas por la relación C/N, temperatura, pH, humedad y tipo de materia

prima. Dalzell et al. (1991) señalan que si la relación C/N es mayor de 35:1 el proceso requerirá un tiempo largo antes de que se elimine suficiente carbono por oxidación, en cambio si está por debajo de 25:1 el nitrógeno será eliminado como amoníaco.

Carvallo (1956), plantea que la mayor amonificación ocurre entre los 60 y 70 °C y la nitrificación aumenta a la temperatura de 35 °C. Además señala como factor muy importante el nivel de oxígeno presente en la pila, ya que en un medio anaeróbico se inhibe la actividad de las bacterias nitrificantes, perdiéndose el nitrógeno al estado libre por acción de organismos desnitrificantes.

2.4.2 Temperatura

Las pilas de descomposición de materia orgánica se calientan debido a que los microorganismos liberan energía a la forma de calor, cuando se alimentan y multiplican (CSIRO, 1978). En la Figura 4, se muestra la curva normal de temperatura-tiempo en una pila de compostación. Esta indica que la pila pasa a través de etapas de calentamiento paulatino, temperatura máxima, enfriamiento y maduración (Dalzell, 1991).

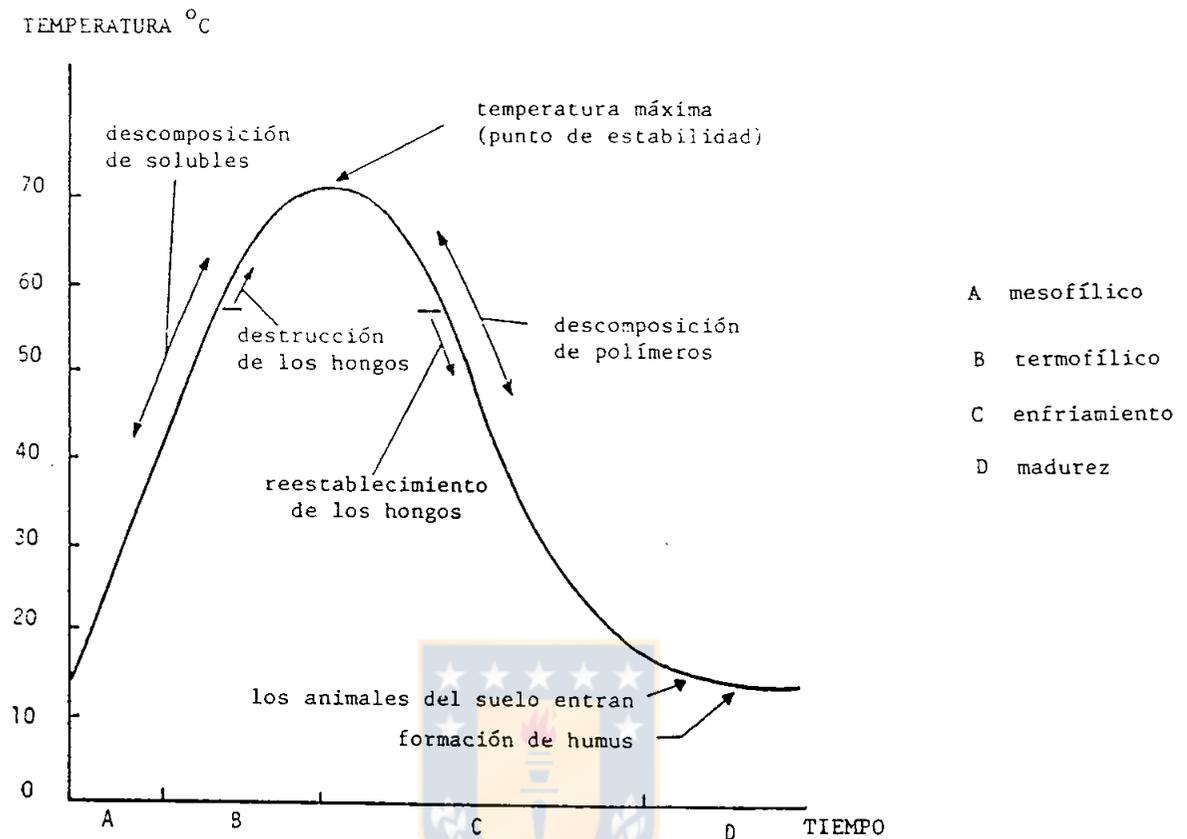


Figura 4. Variación de temperatura en función del tiempo, en una pila de compostación (5)

El ciclo de temperatura, en la descomposición aeróbica de materia orgánica, pasa a través de cuatro fases características:

a) Fase mesófila: En esta etapa el calentamiento es gradual, los microorganismos presentes se multiplican rápidamente y la temperatura se eleva. En este período se descomponen compuestos fácilmente degradables como azúcares, almidón y grasas (Dalzell et al., 1991). La descomposición es llevada a cabo por hongos y bacterias mesofílicas que actúan en el rango de temperatura 25-40 °C.

b) Fase termófila: La descomposición la efectúan microorganismos que actúan entre 45 y 70 °C, llamados termófilos. Cuando la temperatura alcanza los 60 °C la actividad fungosa cesa y la descomposición de hemicelulosa, grasas y proteínas insolubles, es llevada a cabo por actinomicetes y bacterias esporuladas, mientras que bajo los 60 °C y siempre en el rango termófilo, los hongos descomponen constituyentes carbonados insolubles como la celulosa (Gray et al., 1971 citado por Fiabane y Meléndez, 1987; Dalzell et al., 1991).

c) Fase de enfriamiento: Esta etapa es ocupada principalmente por hongos, los que se extienden a partir de las regiones más frías de la pila y atacan los polímeros más resistentes y menos reactivos, como la hemicelulosa y celulosa. La hidrólisis y posterior asimilación de estos materiales es relativamente lenta, lo que implica una menor liberación de calor por lo que la temperatura disminuye hasta aproximarse a la ambiental (Dalzell, 1991).

d) Fase de maduración: Es aquella donde predominan organismos mesófilos y microfauna como gusanos, hormigas, termitas, ácaros, etc.. Ocurren en esta fase reacciones de condensación y polimerización sobre la materia orgánica residual, que produce sustancias tipo húmicas denominadas ligno-proteínas (Almendros et al., 1983 citados por Fiabane y Meléndez, 1987).

Van Schoor et al. (1990), señalan que durante la fase termófila, producto de la descomposición acelerada, todos

los esfuerzos deben concentrarse en mantener el calor dentro de la pila, por lo que estas nunca deben dejarse abiertas y si se voltean reapilarlas rápidamente. El gradiente de temperatura dentro de la pila es fuerte, resultando la base con las menores temperaturas y el centro y parte superior de ésta, con las más altas. Por esta razón debe considerarse en los volteos, que todo el material pase al menos una vez por el centro de la pila, de tal forma de asegurar una esterilización de todo el material, el cual se produce a temperaturas por sobre los 60 °C por al menos tres días (Dalzell et al., 1991).

La temperatura es considerada también, como un buen indicador del grado de compostación que ha sufrido la corteza. Una vez que esta disminuye en forma continua hasta llegar a equipararse con la temperatura ambiente, no elevándose mediante aireación, el proceso se considera terminado (Yerkes y Markstrom, 1968).

2.4.3 pH

La Figura 5 ilustra el comportamiento típico del pH durante el compostaje.

Inicialmente la masa se va acidificando debido a que los productos iniciales de la descomposición son ácidos orgánicos simples, luego de unos cuantos días la pila se vuelve ligeramente alcalina a medida que la proteínas son atacadas y se libera amoníaco. El pH final se acerca al neutro, nivel que se mantiene constante por el efecto

buffer del humus (Poincelot, 1975 citado por Fiabane y Meléndez, 1987; Dalzell et al., 1991).

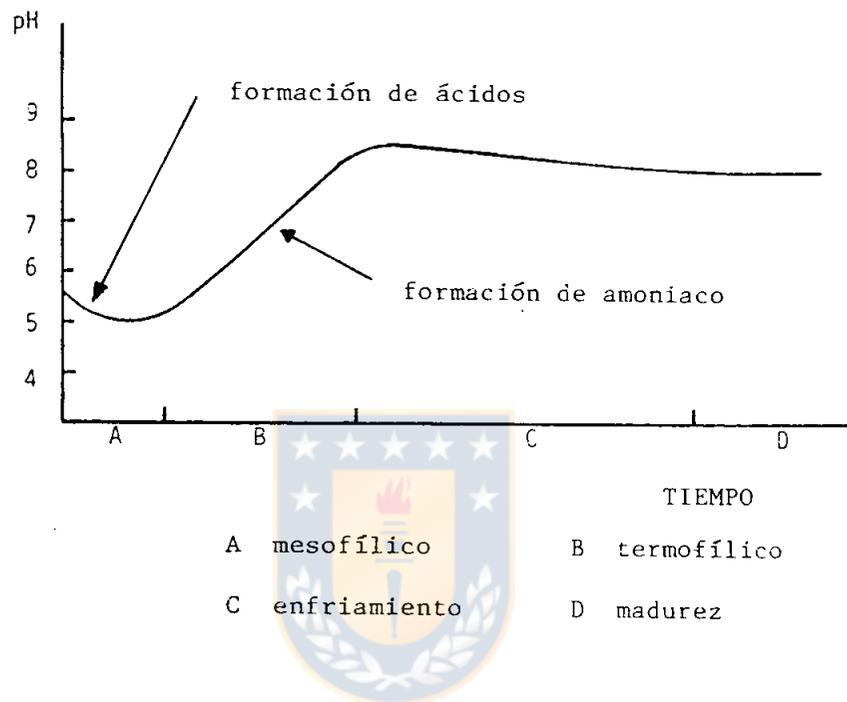


Figura 5. Variación del pH en una pila de compostación (5)

La corteza fresca de pino radiata, es altamente ácida (pH 4 a 4.3). Durante el proceso de compostación su comportamiento es similar al visto anteriormente, aunque su estabilización final se encuentra entre pH 4 y 5. En la Figura 6 se puede apreciar el comportamiento del pH en pilas de compostación de corteza de pino radiata, con distintas dosis de urea (Van Schoor et al., 1990).

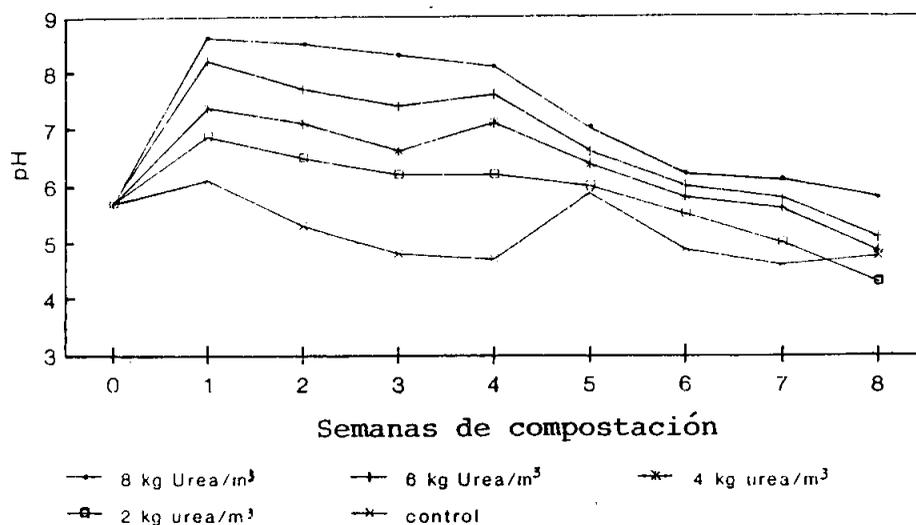


Figura 6. Cambios de pH en pilas de compostación de corteza de pino radiata con diferentes dosis de urea (19)

2.4.4 Toxinas y patógenos

Una importante función de la pila de compostaje es la eliminación de patógenos tales como *Pythium* y *Phytophthora*, los que no pueden sobrevivir a las fluctuaciones de temperatura producidas dentro de la pila, ya que por sobre los 60 °C se desnaturalizan sus proteínas con lo cual mueren, lo mismo le ocurre a semillas de especies indeseadas. Otro aspecto a tener en cuenta es el manejo de la pila, para evitar que se produzcan toxinas por condiciones de anaerobiosis, tales como el ácido butírico, o bien eliminar compuestos fitotóxicos presentes en la materia prima (corteza) como es el caso de compuestos fenólicos (Van Schoor et al., 1990).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales

El estudio contempla un ensayo con diferentes tamaños de partículas, utilizando distintas proporciones de cada uno de estos tamaños en cada tratamiento.

La materia prima la constituye la corteza de pino radiata, además de nitrógeno a la forma de urea, que se aplicó a la corteza para facilitar su descomposición.

Detalle de materiales e insumos requeridos:

- Corteza : 216 m³ de corteza molida.
- Fertilizante : 432 kg de urea.
- Molino : Molino de martillos con tamiz de 63.5 mm.
- Harnero : Harnero mecánico con tamiz de 14 mm de tamaño de criba.
- Correa Transportadora: Correa tipo canoa de altura regulable.
- Termómetro : Termómetro portátil H8754 digital, de rango - 40 a 780 °C, con lanza de dos metros y sensor de NiCrNi.
- Mano de obra : - Molido de corteza.
- Tamizado de partículas.
- Construcción de pilas.
- Faenas de volteo.

3.2 Métodos

3.2.1 Descripción del ensayo

El ensayo se instaló en el fundo San Isidro, propiedad de Forestal Millalemu S.A., ubicado 10 km al oriente de Bulnes, provincia de Chillán, VII región.

Se acopió alrededor de 300 m³ de corteza por un lapso de 5 meses (mayo - septiembre), con lo cual se aseguró su humectación y la lixiviación de sustancias como los taninos. Van Schoor et al. (1990), designan a un proceso similar como maduración de corteza, en el cual la corteza se muele antes de ser acopiada. Este estudio llama maduración al acopio a la intemperie, de corteza sin moler, por el lapso de tiempo antes mencionado. Posteriormente se molió dicha corteza y se tamizó parte de ella con un tamiz de 14 mm, para obtener 2 tipos de rangos de partículas, más las partículas sin tamizar.

- 1.- Partículas sin tamizar producto de la molienda.
- 2.- Partículas tamizadas mayores de 14 mm.
- 3.- Partículas tamizadas menores o iguales a 14 mm.

La corteza se acopió en pilas individuales de 8 m³ cada una, las que fueron cubicadas en un remolque de tractor para asegurar igualdad de volumen entre las pilas. Además a las que correspondía, de acuerdo al diseño experimental, se las mezcló con urea.

3.2.2 Tratamientos

Los tratamientos son producto de la interrelación de dos factores:

- Factor A: Dosis de Nitrógeno.
- Factor B: Tamaño inicial de Partículas.

Factor A con 3 niveles:

- Nivel 0, Sin adición de Urea. (D0)
- Nivel 1, 2 kg de urea / m³ corteza. (D1)
- Nivel 2, 4 kg de urea / m³ corteza. (D2)

Factor B con 3 niveles:

- Nivel 0, sin selección de tamaño de partículas. (Tp0)
- Nivel 1, 80% part. > 14 mm y 20% part. < 14 mm. (Tp1)
- Nivel 2, 80% part. < 14 mm y 20% part. > 14 mm. (Tp2)

Para los tres niveles del factor tamaño de partículas se procedió de la siguiente forma:

Para el nivel 0 se midieron 8 m³ de las partículas molidas que no fueron tamizadas.

Para el nivel 1 se midió 6.4 m³ de las partículas tamizadas mayores a 14 mm y 1.6 m³ de las partículas tamizadas menores o iguales a 14 mm. Por lo tanto la pila

de 8 m³ quedó conformada por un 80% de partículas > 14 mm y 20% de partículas < 14mm.

Para el nivel 2 se procedió de igual forma, pero invirtiendo los porcentajes de participación. Vale decir, de los 8 m³, 80% de partículas < 14 mm y 20% de partículas > 14 mm.

De estos dos factores, mediante un arreglo factorial, se generaron nueve tratamientos, que con tres repeticiones por cada uno dieron origen a 27 unidades muestrales.

T1 = Tp0 D0	T2 = Tp0 D1	T3 = Tp0 D2
T4 = Tp1 D0	T5 = Tp1 D1	T6 = Tp1 D2
T7 = Tp2 D0	T8 = Tp2 D1	T9 = Tp2 D2

T: Tratamientos Tp: Nivel tamaño de partículas
D: Nivel dosis de urea.

La granulometría de la materia prima y de cada uno de los tratamientos se determinó utilizando once tamices, lo que dio origen a doce rangos de partículas. Estos fueron agrupados en tres rangos, para facilitar el análisis, quedando como sigue: partículas mayores a 14 mm, 13.9 mm hasta 6.35 mm y partículas menores a 6.34 mm.

3.2.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente aleatorio de parcela dividida con estructura factorial y tres repeticiones por

tratamiento. Se asignó a la parcela principal (o unidad completa) el factor dosis de nitrógeno y a la subparcela (o subunidad), dentro de cada parcela principal, el factor tamaño de partículas. La unidad experimental la constituye la pila (Ching Chun Li, 1969; Little y Hills, 1978; Steel y Torrie, 1992).

3.2.4 Mediciones y análisis

Los tratamientos se pusieron a compostar por un periodo de 7 meses (15 nov. - 13 junio), durante los cuales se registró:

A la materia prima se le midió N total, N nítrico, N amoniacal, materia orgánica, relación C/N, pH, conductividad eléctrica, manganeso y humedad.

Durante el proceso de compostación, se midió diariamente temperatura en el centro de la pila, con un termómetro digital y por un lapso de 209 días a todas las unidades muestrales. Las variables pH y humedad se midieron en una oportunidad a la materia prima y en cuatro oportunidades a todos los tratamientos, los días 75, 143, 170 y 211 de iniciado el ensayo.

La humedad se midió en cuatro oportunidades a todas las unidades muestrales durante el estudio, como forma de control, de tal manera de mantener esta lo más cercana al óptimo posible (Apendice I).

Al producto final, de cada una de las unidades muestrales, se le midió N total, N nítrico, N amoniacal, carbono orgánico, relación C/N, pH, materia orgánica, fósforo, potasio, manganeso, fierro, cobre, conductividad eléctrica y humedad.

La metodología utilizada para la medición de las variables anteriores fue la siguiente:

- a) N total, en porcentaje, por digestión con H_2SO_4 y destilado por método de Kjeldahl.
- b) N nítrico y amoniacal, por Bremner, extracción con KCl y destilación microKjeldahl.
- c) Carbono orgánico y materia orgánica, por Walkley y Black. Digestión con H_2SO_4 y dicromato de K.
- d) P disponible, por Olsen. Fotocolorimétrico, desarrollo complejo fosfomolibdico.
- e) K disponible, por espectrofotometría de absorción atómica, extracción con acetato de amonio.
- f) Zn, Mn, Fe y Cu disponible, por espectrofotometría de absorción atómica, extracción con D.T.P.A..
- g) pH suspensión, mediante relación muestra/agua de 1:5.

h) Conductividad eléctrica, mediante relación muestra/agua de 1:5.

i) Contenido de humedad, por el método de secado a 105 °C por 24 horas.



IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Materia prima

En la Tabla 6 se presenta la composición química del material empleado en la elaboración de los nueve tratamientos generados para el estudio.

Se puede observar que N total, tanto para la corteza fresca como para la corteza con maduración, se encuentra ligeramente por sobre los valores descritos en la literatura. Van Schoor et al. (1990) sitúan el porcentaje de N total, para corteza fresca de pino, en 0.3%.

Nitrógeno nítrico y N amoniacal presentan un valor más alto en la corteza fresca que en corteza con maduración, pudiendo haberse perdido estos compuestos como amoniaco, producto del almacenamiento de la corteza (Dalzell et al., 1991).

En cuanto a la relación C/N, esta se encuentra muy por debajo del valor esperado. Van Schoor et al. (1990) sitúan este valor alrededor de 200:1 pudiendo llegar hasta 450:1 en corteza fresca de pino para el caso de Sud Africa.

El pH en este caso es ligeramente menos ácido que lo esperado, por cuanto este valor se encuentra alrededor de 4 a 4.3 (fuertemente ácido), para corteza fresca (Van Schoor et al., 1990).

TABLA 6. COMPOSICION QUIMICA DE LA CORTEZA UTILIZADA EN LA ELABORACION DE LOS TRATAMIENTOS.

Composición Química		Corteza Fresca	Corteza C/Maduración
N total	%	0.32	0.38
N nítrico	ppm	110.00	77.00
N amoniacal	ppm	140.50	130.00
Mat. org.	%	34.50	33.70
Carb. org.	%	20.06	19.60
Relación	C/N	62.70	51.58
pH suspensión	1:5	4.90	5.40
Cond. elect.	mmhos/cm	0.50	0.20
Manganeso	ppm	122.00	195.00

4.1.1 Granulometría de la materia prima

La granulometría de la materia prima en todos sus estados (fresca sin moler, fresca molida y molida con maduración), se indica en la Tabla 7.

TABLA 7. DISTRIBUCION GRANULOMETRICA PORCENTUAL DE LA MATERIA PRIMA EN SUS DISTINTOS ESTADOS.

Rango (mm)	Cort. Fresca s/moler	Cort. Fresca molida	Cort. molida c/maduración
> 14	68.8 %	34.0 %	12.1 %
13.9 - 6.35	16.7 %	37.7 %	24.1 %
< 6.34	14.4 %	28.2 %	63.8 %

4.2 Valores obtenidos a lo largo y al final del proceso de compostación

4.2.1 pH

Para los distintos tratamientos se obtuvo los valores de pH que muestra la Tabla 8.

En general, en estos valores de pH, se observa el comportamiento típico de una masa de compostación aeróbica. Al inicio del proceso un pH moderadamente ácido, para pasar luego a un nivel cercano a la neutralidad o ligeramente alcalino, para volver finalmente a un valor ácido.

En la primera medición de pH el análisis de varianza, según prueba F para un nivel de confiabilidad del 95%, detectó diferencias significativas para la dosis de nitrógeno. Por medio del test de Tukey se comprobó que D2 (dosis de 4 kg de urea / m³ de corteza) y D1 (dosis de 2 kg de urea / m³ de corteza) son significativamente distintas de D0 (sin adición de urea a la corteza). No detectándose diferencias entre D1 y D2.

En la segunda medición la prueba F para un nivel de confiabilidad del 95%, detectó diferencias para la dosis de nitrógeno y para el tamaño de partículas. Por medio del test de Tukey se comprobó que D2 es significativamente distinta de D0 y D1. No detectándose diferencias entre D0 y D1.

Además para la variable tamaño de partículas se detectaron diferencias significativas entre Tp1 (partículas con 80% > 14 mm y 20% < 14 mm) y Tp2 (partículas con 80% < 14 mm y 20 % > 14 mm). No detectándose diferencias de Tp0 (sin selección de partículas) con Tp1 y Tp2.

TABLA 8. VALORES DE pH PARA LOS NUEVE TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.

Tratam.	pH			
	1 ^a Medic.	2 ^a Medic.	3 ^a Medic.	4 ^a Medic.
T1 (Tp0-D0)	5.8 a	5.2 b	5.8 a	5.5 a
T2 (Tp0-D1)	6.6 b	5.1 b	5.0 a	4.8 a
T3 (Tp0-D2)	7.2 b	5.9 a	5.4 a	5.3 a
T4 (Tp1-D0)	6.1 a	5.3 b	6.3 a	5.2 a
T5 (Tp1-D1)	7.3 b	5.6 b	5.5 a	5.2 a
T6 (Tp1-D2)	7.4 b	6.0 a	5.9 a	5.3 a
T7 (Tp2-D0)	6.0 a	5.1 b	5.7 a	5.2 a
T8 (Tp2-D1)	6.5 b	4.9 b	4.6 a	4.7 a
T9 (Tp2-D2)	6.5 b	5.5 a	5.2 a	5.4 a

Los valores de pH con distinta letra en la misma columna, tienen diferencias significativas ($p < 0.05$) para la dosis de urea.

En la tercera medición y medición final ya no se detectaron diferencias significativas para dosis de nitrógeno ni para tamaño de partículas. Además en ninguna de las mediciones se detectó interacción entre las variables.

También se puede observar, en aquellos tratamientos donde se aplicó urea (T2, T3, T5, T6, T8, T9), una tendencia generalizada del pH a disminuir. Sin embargo, en aquellos

tratamientos donde no se aplicó urea (T1, T4, T7), los valores de pH oscilaron sin un patrón definido, a lo largo del ensayo.

4.2.2 Relación C/N

La relación C/N se midió en dos oportunidades, al inicio del estudio a la materia prima y al final de éste a cada una de las unidades muestrales. En la Tabla 9 se muestra la relación C/N de cada uno de los tratamientos.

TABLA 9. RELACION C/N PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.

Tratamientos	Relación C/N
T1 (Tp0, D0)	36.1 a
T2 (Tp0, D1)	26.3 b
T3 (Tp0, D2)	30.8 b
T4 (Tp1, D0)	44.2 a
T5 (Tp1, D1)	31.1 b
T6 (Tp1, D2)	19.0 b
T7 (Tp2, D0)	48.2 a
T8 (Tp2, D1)	23.1 b
T9 (Tp2, D2)	28.9 b

Los valores con distinta letra tienen diferencias significativas ($p < 0.05$) para la dosis de urea.

Se puede indicar, a partir de los valores obtenidos, el beneficio que implica la adición de nitrógeno a la forma de urea (Fig. 7).

Se debe hacer notar, además, que todos los valores obtenidos son aceptables de acuerdo a los antecedentes de literatura. Van Schoor et al. (1990), indica que un valor inferior a 50:1 es aceptable para un buen desarrollo de plántulas.

De acuerdo a los valores entregados por la prueba F, para un 95% de confianza, se encontraron diferencias significativas entre las dosis de nitrógeno. Además, a través del test de Tukey se determinó que hay diferencias significativas de D2 y D1 con D0, siendo las primeras mejores que esta última. A su vez no se detectó diferencias entre D2 y D1.

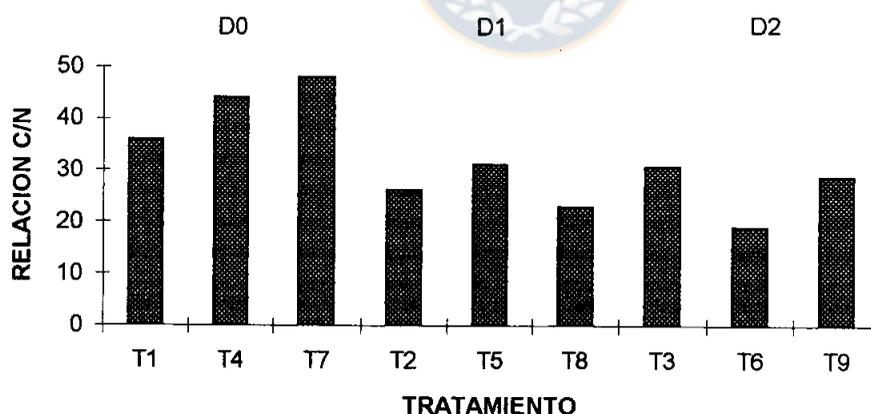


Figura 7. Relación C/N de cada tratamiento agrupadas por dosis de urea.

Si comparamos el T6 (C/N 19:1) con el T7 (C/N 48:1), se aprecia claramente el efecto de adicionar Nitrógeno, a la forma de urea, en el comportamiento de la relación C/N, ya que ésta disminuye considerablemente.

4.2.3 Granulometría

Para la materia prima en sus diferentes estados y para cada uno de los tratamientos, se determinó la distribución granulométrica.

La distribución por rango de partículas, para los distintos niveles del factor B (tamaño inicial de partículas) se entregan en la Tabla 10.

TABLA 10. DISTRIBUCION PORCENTUAL DEL TAMAÑO DE PARTICULAS, PARA CADA UNO DE LOS NIVELES DEL FACTOR B.

Rango (mm)	Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2
> 14	12.1 %	80 %	20 %
13.9 - 6.35	24.1 %	5.5 %	21.9 %
< 6.34	63.8 %	14.5 %	58.1 %

La composición granulométrica de cada uno de los tratamientos obtenidos en el estudio, se entregan en la Tabla 11.

El análisis de varianza se realizó por rango de tamaño de partículas (> 14 mm, 13.9 mm a 6.35 mm y < 6.34 mm) y dentro de cada rango las diferencias fueron altamente significativas.

Por lo tanto, es mejor comparar el porcentaje de variación de la distribución original de partículas (Tabla 10), respecto de la distribución final (Tabla 11) y (Fig. 8a, 8b, 8c).

TABLA 11. COMPOSICION GRANULOMETRICA DE LOS TRATAMIENTOS

Tratamientos	% Distribución granulométrica en los rangos (mm)		
	> 14	13.9 - 6.35	< 6.34
T1 (Tp0-D0)	10.6	23.4	66.0
T2 (Tp0-D1)	7.5	21.4	71.1
T3 (Tp0-D2)	6.4	22.1	71.5
T4 (Tp1-D0)	18.0	34.5	47.5
T5 (Tp1-D1)	14.1	33.6	52.3
T6 (Tp1-D2)	10.8	29.7	59.5
T7 (Tp2-D0)	2.1	13.6	84.3
T8 (Tp2-D1)	1.7	12.3	86.0
T9 (Tp2-D2)	2.5	14.8	82.7

En general se aprecia una mayor disgregación de las partículas originales, en aquellos tratamientos donde hubo aplicación de nitrógeno.

Si comparamos las distintas dosis de urea, dentro de un mismo nivel de tamaño de partículas, por ejemplo Tp0, se observa una mayor disminución porcentual de las partículas de T2 (7.5%) y T3 (6.4%), que de T1 (10.6%) (Tabla 11), respecto del material original (12.1%) (Tabla 10), para el rango de partículas > 14 mm . Igual cosa ocurre con T4, T5 y T6, donde los tratamientos con aplicación de urea (T5 y T6) disminuyeron más que el tratamiento al cual no se le adicionó urea (T4). El único tratamiento que se comportó de forma distinta es T9 (2,5%), que disminuyó porcentualmente menos que T7 (2,1%), respecto del valor original (20%).

TABLA 12. VARIACION PORCENTUAL DE LA DISTRIBUCION DE PARTICULAS DE LOS TRATAMIENTOS, RESPECTO DE LA ORIGINAL.

Tratamientos	Variación en % (rango en mm)		
	> 14	13.9 - 6.35	< 6.34
T1 (Tp0-D0)	- 1.5	- 0.7	+ 2.2
T2 (Tp0-D1)	- 4.6	- 2.7	+ 7.3
T3 (Tp0-D2)	- 5.7	- 2.0	+ 7.7
T4 (Tp1-D0)	- 62.0	+ 29.0	+ 33.0
T5 (Tp1-D1)	- 65.9	+ 28.1	+ 37.8
T6 (Tp1-D2)	- 69.2	+ 24.2	+ 45.0
T7 (Tp2-D0)	- 17.9	- 8.3	+ 26.2
T8 (Tp2-D1)	- 18.3	- 9.6	+ 27.9
T9 (Tp2-D2)	- 17.5	- 7.1	+ 24.6

Signo (-) indica disminución de partículas en el rango
 " (+) " aumento " " " " "

El mismo efecto mencionado en el párrafo anterior, se comprueba para los tres rangos de partículas (>14 mm, 13.9 mm - 6.35 mm y < 6.34 mm), una mayor disgregación de las partículas en aquellos tratamientos con aplicación de urea y por consiguiente una mayor acumulación de partículas de menor tamaño, en dichos tratamientos (Tabla 12).

Otro aspecto a considerar, es el alto grado de meteorización que experimentaron las partículas de los tratamientos 4, 5 y 6 respecto de la composición inicial (Figura 8b).

Observándose una fuerte disgregación de las mayores a 14 mm, las que se acumularon en los rangos inferiores.

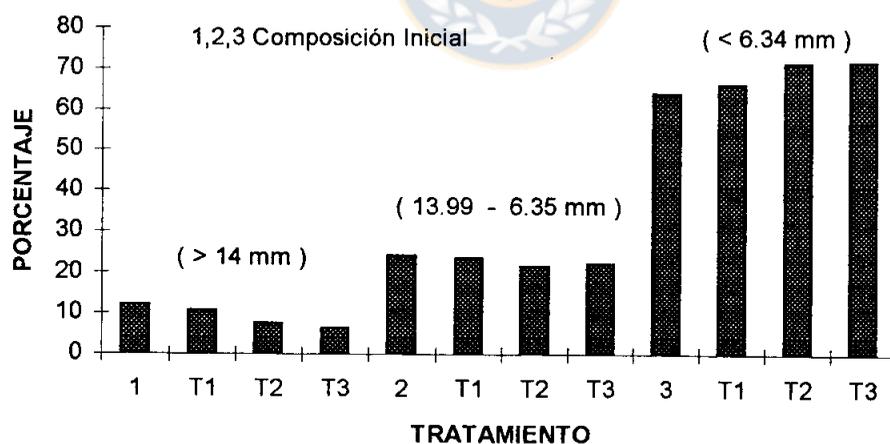


Figura 8a. Porcentaje de participación inicial y final de los tratamientos 1, 2, 3 para los distintos rangos de distribución de partículas.

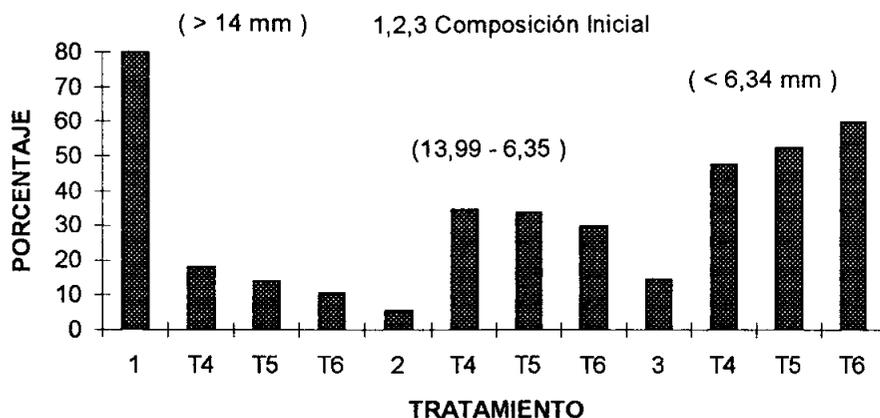


Figura 8b. Porcentaje de participación inicial y final de los tratamientos 4, 5, 6 para los distintos rangos de distribución de partículas.

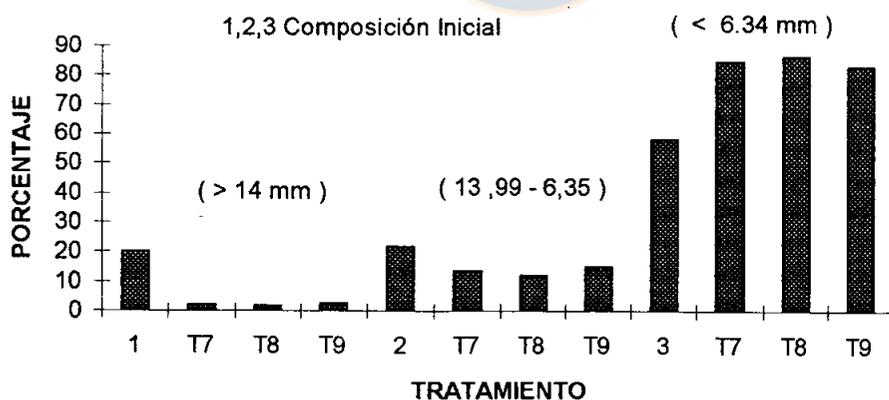


Figura 8c. Porcentaje de participación inicial y final de los tratamientos 7, 8, 9 para los distintos rangos de distribución de partículas.

4.2.4 Temperatura

La temperatura llegó a un máximo absoluto de 62 °C en el tratamiento nueve. La temperatura máxima promedio por tratamiento fue de 57.3 °C también alcanzada por tratamiento nueve (Figura 9c).

El análisis de varianza para temperatura máxima, no entregó diferencias significativas entre los tratamientos. En cambio para la temperatura media, a lo largo de proceso, si se encontraron diferencias significativas para la variable tamaño de partículas. Según prueba F y test de Tukey para un 95% de confianza, Tp2 es significativamente mejor que Tp0 y Tp1, mientras que no se detectó diferencias entre Tp0 y Tp1.

En general como se aprecia en la figura 9a, 9b y 9c el alza de temperatura a lo largo del proceso no fue tan alta como se esperaba, principalmente en lo que respecta a la permanencia de las pilas a una temperatura superior a los 60 °C, ya que la mayor parte del tiempo las pilas se mantuvieron alrededor de los 40 °C. Todo esto puede deberse, entre otras cosas, a la época del año en que instaló el ensayo lo que afectó la ganancia inicial de humedad en las pilas, o que el volumen de éstas, por razones operacionales, no fue el suficiente (Van Schoor et al., 1990)

- Tratamiento 1
- Tratamiento 2
- - - - - Tratamiento 3
- Fecha de Volteo.

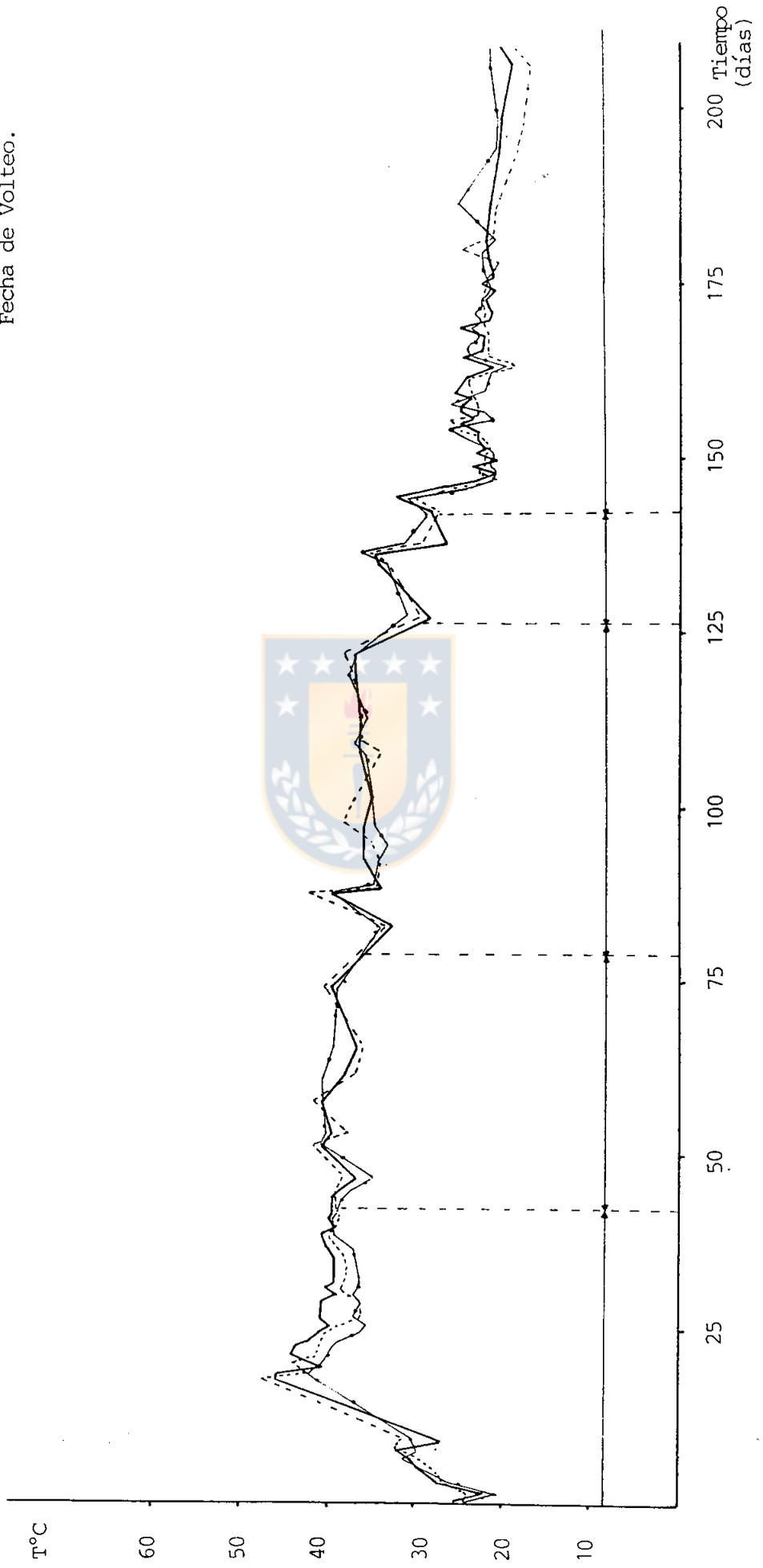


Figura 9a. Evolución de la temperatura durante la elaboración del sustrato, para el nivel 0 de tamaño de partículas y dosis variable de urea.

- Tratamiento 4
- Tratamiento 5
- - - - - Tratamiento 6
- Fecha de Volteo.

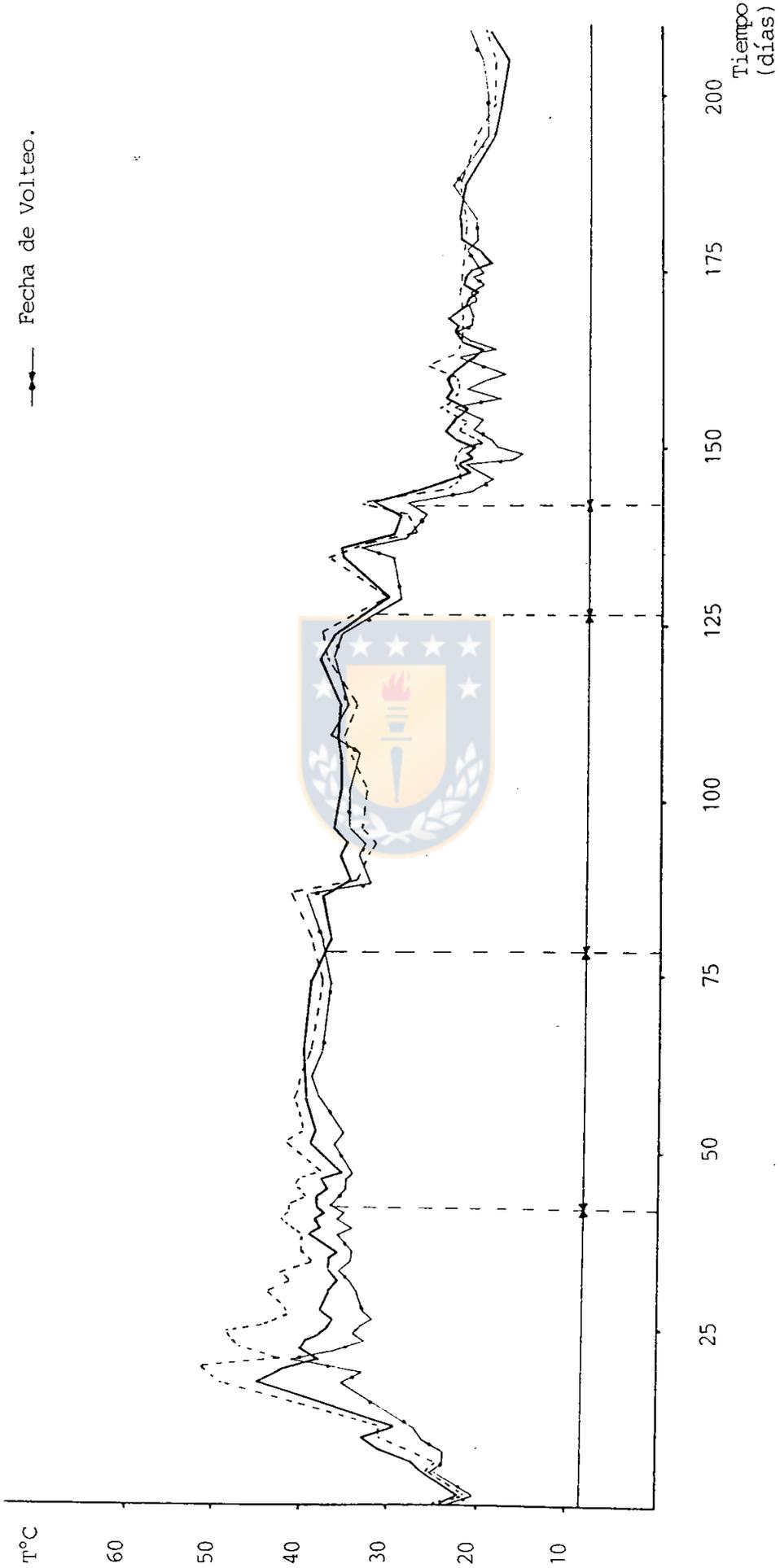


Figura 9b. Evolución de la temperatura durante la elaboración del sustrato, para el nivel 1 de tamaño de partículas y dosis variable de urea.

- Tratamiento 7
- Tratamiento 8
- - - - - Tratamiento 9
- Fecha de Volteo.

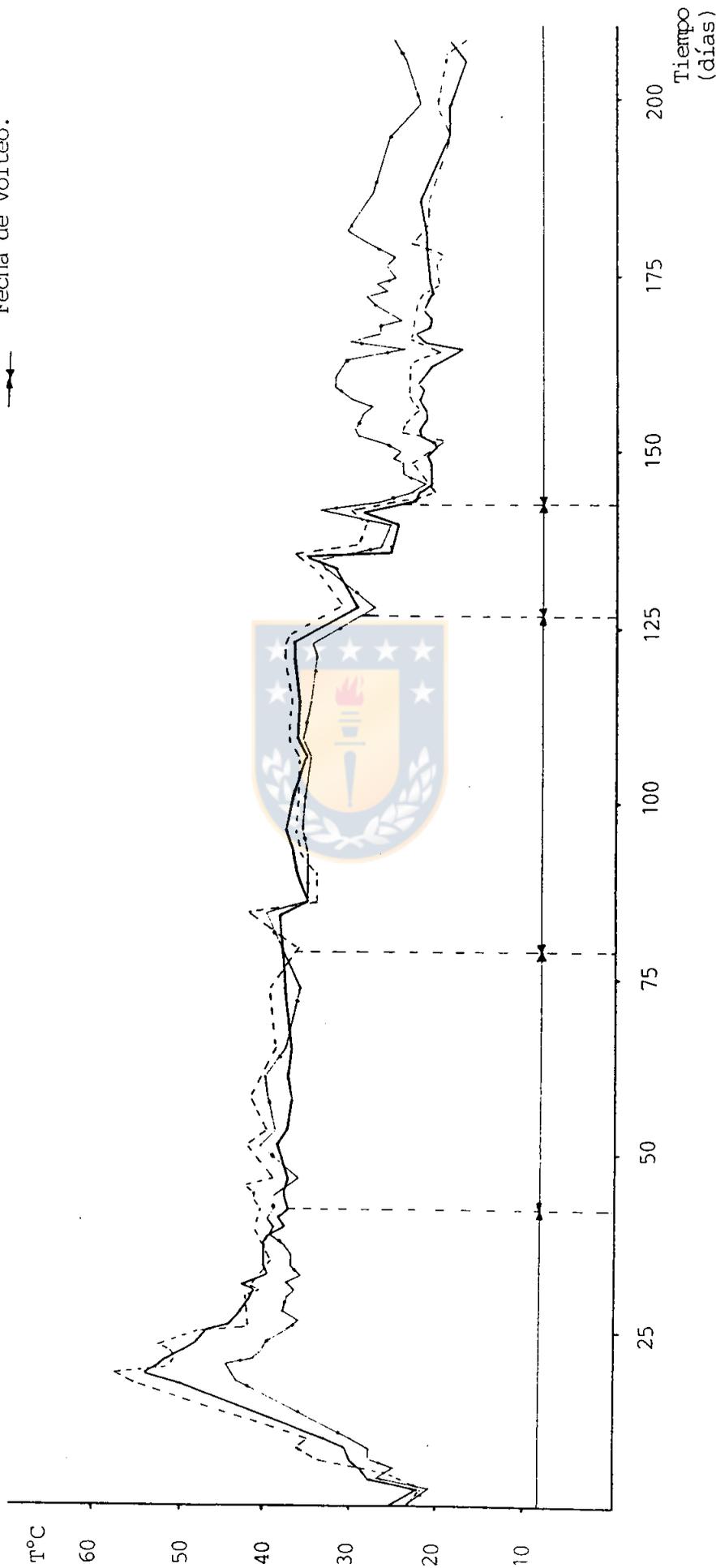


Figura 9c. Evolución de la temperatura durante la elaboración del sustrato, para el nivel 2 de tamaño de partículas y dosis variable de urea.

4.2.5 Otras mediciones

Al final del proceso se midieron otras variables, para verificar si se producía algún cambio considerable respecto del valor con el cual se inició el estudio, como es el caso de nitrógeno total, nitrógeno nítrico, nitrógeno amoniacal, carbono orgánico, materia orgánica, conductividad eléctrica y manganeso. Además en esta oportunidad se midió otras variables no consideradas al inicio de éste, como fósforo, potasio, fierro y cobre (Apendice II).

Si comparamos el valor inicial y los valores finales de nitrógeno total, nítrico y amoniacal, nos encontramos con que estos tuvieron aumentos importantes en todos los tratamientos, especialmente en aquellos con adición de urea (Tabla 13).

Nitrógeno total y nitrógeno nítrico presentaron diferencias significativas con prueba F y test de Tukey para la variable dosis de urea, siendo D2 significativamente distinta de D0 y D1, no detectándose diferencias entre estas últimas. Nitrógeno amoniacal también presentó diferencias entre los tratamientos para la dosis de Urea, siendo D2 significativamente distinta de D0, no detectándose diferencias entre D2 y D1 ni entre D1 y D0.

TABLA 13. VARIACION DEL PORCENTAJE INICIAL DE NITROGENO, EN COMPARACION CON LOS VALORES FINALES DE ESTE.

Variable Tratamientos	N total %	N nítrico ppm	N amoniacal ppm
valor inicial	0.38	77	130
T1 (Tp0-D0)	0.70	537	414
T2 (Tp0-D1)	0.84	527	417
T3 (Tp0-D2)	0.84	961	780
T4 (Tp1-D0)	0.55	479	208
T5 (Tp1-D1)	0.76	396	380
T6 (Tp1-D2)	1.14	1104	1049
T7 (Tp2-D0)	0.49	184	112
T8 (Tp2-D1)	0.95	889	643
T9 (Tp2-D2)	0.82	614	619

Carbono orgánico, fósforo, potasio, manganeso, cobre, conductividad eléctrica y materia orgánica, no arrojaron diferencias significativas entre los tratamientos, para tamaño de partículas ni para dosis de urea (Apendice II).

Fierro si presentó diferencias significativas entre los tratamientos, para el factor dosis de urea. Siendo D0 significativamente distinta de D2, no se detecto diferencias entre D0 y D1 ni entre D1 y D2 (Apendice II).

V. CONCLUSIONES

Al evaluar la elaboración de sustrato a partir de corteza de pino, con distintas granulometrías iniciales y diferentes niveles de adición de nitrógeno, se concluye que:

1.-El tamaño inicial de partículas no afecta la velocidad de compostación.

2.-El tamaño inicial de partículas, en un proceso de compostación de corteza, estará en función de la utilización del sustrato generado, por cuanto todos los rangos de partículas estudiados se comportaron de forma similar.

3.-El tamaño inicial de partículas no afecta al pH, a la relación C/N, al nitrógeno total, al nitrógeno nítrico y al nitrógeno amoniacal.

4.-La adición de nitrógeno, a la forma de urea, tiene un efecto benéfico en el proceso de compostación e influye en los valores finales de nitrógeno total, nitrógeno nítrico y nitrógeno amoniacal.

5.-La adición de nitrógeno, a la forma de urea, influye en el comportamiento de la relación C/N.

6.-La adición de nitrógeno, a la forma de urea, influye en el comportamiento del pH sólo durante el proceso, no así en el valor final de éste.

7.-El tamaño inicial de partículas no tiene gran relevancia en las temperaturas alcanzadas durante el proceso de compostación.

8.-El tamaño inicial de partículas no afecta las temperaturas máximas a lo largo del proceso de compostación.

9.-El tamaño inicial de partículas influye en la temperatura media alcanzada, por los distintos tratamientos, a lo largo del proceso de compostación.



VI. RESUMEN

En este estudio se busca determinar la influencia del tamaño inicial de partículas y la dosis adecuada de N, en un proceso de compostación aeróbica de corteza.

El proceso se inició con la molienda de la corteza y la selección de los distintos tamaños de partículas, para la instalación de los diferentes tratamientos de acuerdo a la granulometría y dosis de N correspondiente, además de medir diferentes variables a lo largo de éste. Como el proceso fue de tipo aeróbico, para asegurar la oxigenación de las pilas, se procedió al volteo periódico de estas en forma manual.

Se realizaron análisis químicos a la corteza al inicio, durante y al final del proceso. Se midieron variables como N, C, Relación C/N, pH, P, K, Fe, Mn, Cu, conductividad eléctrica y materia orgánica. Se registró diariamente temperatura y se construyeron las curvas, de esta variable, para cada tratamiento. Se hicieron mediciones de granulometría a la corteza inicial y al producto final. También se midió porcentaje de humedad, para mantener ésta en el nivel adecuado.

El diseño experimental usado fue de tipo completamente aleatorio de parcela dividida y con estructura factorial, con tres repeticiones por tratamiento.

La adición de N fue relevante en las características químicas del producto final. De igual forma, se constató una mayor disgregación de las partículas en los tratamientos donde este elemento estuvo presente.

Para el caso de temperaturas máximas, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, en cambio para temperatura media a lo largo del proceso, si se verificaron diferencias significativas, para la variable tamaño de partículas.



6.1 SUMMARY

In this study we have search to determine the influence of the initial size of particles and the adequate dose of N in an aerobic process of bark composting.

The process was begun by grinding the bark selecting the different sizes of particles for the installation of various treatments, in addition to measuring the different variables during the process. Since this was an aerobic process, in order to insure the oxygenation of the pile, these were turned over manually from time to time.

Chemical analyses were carried and on the bark in the beginning, during and as the end of the process. Variables like N, C, the ratio C/N, pH, P, K, Fe, Mn, Cu, electric conductivity and organic material were measured. The temperature was recorded daily, and curves for this variable were constructed for each treatment. Granulometric measurements were taken of the initial bark and of the final product. The percentage of humidity was also measured in order to keep as an appropriate level.

The experimental design used was totally alleatory of divided parcel and with factorial structure, with three repetitions for treatment.

The addition of N was relevant in the chemical characteristics of the final product. Also, there proved to be greater desegregation of the particles in the treatments where this element was present.

In the case of maximum temperatures we found no significant differences in the treatments; however, as medium temperatures during the process, there were significant differences, for the variable of particle size.



VII. BIBLIOGRAFIA

1. BERGEMANN, I., S. VALIENGO, D. ARIOVALDO, L. CORRADINI, S. FERNANDEZ. 1989. Selecao de componentes de substrato para producao de mudas de eucalipto em tubetes. IPEF, Piracicaba (41-42). pp: 36-43. Sao Paulo, Brasil.
2. CARVALLO, M. 1956. Humus artificial (obtenido por fermentación aeróbica). Tesis de grado Universidad de Chile, Fac. De Agronomía. Santiago, Chile.
3. CSIRO. 1978. Composting making soil improver from rubbish. División of soil. Melbourne, Australia.
4. CHING CHUN LI. 1969. Introducción a la estadística experimental. Mc GRAW-HILL. Ciudad de México, México.
5. DALZELL, H. W., A. J. BIDDLESTONE, K. R. GRAY Y K. THURAYRAJAN. 1991. Manejo del suelo: Producción y uso del composte en ambientes tropicales y sub tropicales. Boletín de suelos de la FAO N° 56. FAO. Roma, Italia.
6. ESAU, K. 1985. Anatomía vegetal. Omega, S.A. Barcelona España.

7. FAO. 1979. China: Reciclaje de Desechos Orgánicos en la Agricultura. Boletín de suelos de la Fao N° 40. Roma, Italia.
8. FIABANE, C Y L. MELENDEZ. 1987. Elaboración de compost utilizando aserrín de pino (*Pinus radiata* D. Don) y su evaluación como fertilizante en un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Tesis de grado Universidad de Chile, Fac. Cienc. Agrar. For.. Santiago, Chile.
9. FILHO, J. Z. E E. A. BALLONI. 1988. Enraizamento de estacas de eucalyptus: efeitos do substrato e do horario de coleta do material vegetativo. IPEF, Piracicaba (40): 39-42. Sao Paulo, Brasil.
10. GRAY, K. Y A. BIDDLESTONE. 1981. The composting of agricultural wastes. Pp: 99-111. In: Biological husbandry a scientific approach to organic farming. Ed. B. Stonehouse, B. Butterworths. London, England.
11. HOITINK, H. AND H. A. POOLE. 1980. Factors affecting quality of compost for utilization in container media. Hort science (15): 171-173.
12. INFOR-CORFO. 1987A. Estadísticas forestales. Boletín estadístico N°1. Santiago, Chile.
13. INFOR-CORFO. 1987B. La industria del aserrío. Boletín estadístico N°2. Santiago, Chile.

14. INFOR-CORFO. 1987C. La actividad forestal en Chile. Santiago, Chile.
15. LITTLE, T. M. Y F.J. HILLS. 1978. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Trillas. Ciudad de México, México.
16. RUSKIN F. 1981. Microbial process: Promising technologies for developing countries. National Academy of Science. Waschington D.C.. USA.
17. STEEL, R. G. D. Y J. H. TORRIE. 1992. Bio estadística principios y procedimientos. Mc GRAW-HILL. Ciudad de México, México.
18. TOVAL, G. 1983. Utilización de la corteza de pinos como substrato en viveros. An. INIA/ Ser. Forestal (7):67-81.
19. VAN SCHOOR, M. J., I. E. SMITH and C. L. DAVIS. 1990. Preparation and utilization of pine bark as a growing medium for plants. Report submitted by the departament of horticultural science, University of Natal Pietermaritzburg, to the council for scientific and industrial research. Report. Pietermaritzburg, South Africa.

20. YERKES, V. P. and D. C. MARKSTROM. 1968. Composting ponderosa pine bark effects of nitrogen addition and aeration. Research note RM-126. U.S.D.A. Forest Service. Washington, D.C., USA.



APENDICE I

PORCENTAJE DE HUMEDAD MEDIDA EN CUATRO OPORTUNIDADES A LO LARGO DEL ENSAYO.

Trat.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Med.1	67.5	65.5	65.9	64.5	64.1	54.3	56.5	57.0	57.6
Med.2	62.8	63.5	59.6	61.5	59.9	58.1	59.5	56.8	57.1
Med.3	55.2	55.5	58.4	55.5	54.0	53.6	53.8	54.7	54.5
Med.4	56.0	57.6	61.8	54.6	53.8	56.4	52.8	58.1	58.0
X	60.4	60.5	61.4	59.0	58.0	55.6	55.6	56.6	56.8

APENDICE II

VALORES FINALES DE VARIABLES COMO C, P, K, Mn, Fe, Cu,
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y MATERIA ORGANICA.

Var.	C Organ. %	P Disp. ppm	K Disp. ppm	Mn Disp. ppm	Fe Disp. ppm	Cu Disp. ppm	Cond. Elect. mmhos/cm	Mat. Organ. %
V.Inic	19.6	-	-	122	-	-	0.20	33.7
T1	22.1	62	2127	177	1084	12	0.43	38.1
T2	22.0	69	1381	277	906	27	0.61	37.8
T3	22.2	78	2261	153	710	11	0.91	38.2
T4	22.5	67	1935	213	1034	10	0.59	38.8
T5	22.2	64	1672	205	698	21	0.42	38.2
T6	21.4	59	1835	170	723	46	0.96	36.8
T7	22.2	71	1866	182	1216	15	0.23	38.3
T8	21.5	69	1883	222	1121	18	1.30	37.1
T9	21.6	79	2200	169	856	7	0.52	37.2