

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA


T.3a74

**ESTUDIO DE LA RESPUESTA AL NITRÓGENO EN
Eucalyptus dunnii Maiden, PARA
PRODUCCIÓN DE BIOMASA.**

Por

Ana Laura GARATEGUI ACUÑA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo
(Orientación Forestal)

MONTEVIDEO
URUGUAY
2002

FACULTAD DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACIÓN Y
BIBLIOTECA

TESIS APROBADA POR:

Director: Ing. Agr. Omar Casanova.
Nombre completo y firma

Ing. Agr. Rafael Escudero.
Nombre completo y firma

Ing. Agr. Oscar Bentancur.
Nombre completo y firma

Ing. Agr. Jorge Hernández.

Fecha: _____

Autor: _____

AGRADECIMIENTOS

Deseo dejar mi expreso agradecimiento a quienes de una u otra forma hicieron posible la presentación de este trabajo y la culminación de mi carrera. Agradezco especialmente a:

Toda mi familia, por el apoyo que me dieron siempre

Omar Casanova, por su compañerismo durante todo el trabajo de la Tesis, su colaboración y el estímulo a seguir adelante

La empresa SURESA en donde se llevó a cabo el trabajo de campo particularmente

- Pablo Santini, Ing. Agr. encargado de la empresa,
- y a los Téc. Agr. Geraldine Rodríguez y Javier Soria, por su invaluable colaboración y la hospitalidad con que me dieron alojamiento en su casa

Emilio y Teresa, mis padrinos, por cederme horas en su taller y su ayuda en la preparación de las muestras para análisis

Leticia, por sus enseñanzas en el laboratorio y la realización de los análisis químicos

Jorge Hernández, por sus correcciones detalladas y su gran dedicación, siempre

Oscar Bentancur, por la realización de todos los análisis estadísticos, sus aclaraciones y su disponibilidad

Rafael Escudero, por sus aportes y colaboración en la corrección

Todos mis amigos y demás familiares, que en distintas oportunidades estuvieron presentes y se interesaron por que este trabajo llegara a su fin

Oliver por “estar” conmigo en esta etapa final de mi carrera

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1 <u>INTRODUCCION</u>	1
2 <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	2
2.1 <u>INTRODUCCION DE LA REVISIÓN</u>	2
2.2 <u>CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO</u>	2
2.3 <u>CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO FORESTAL</u>	4
2.4 <u>NUTRIENTES</u>	4
2.4.1 <u>Macronutrientes</u>	4
2.4.2 <u>Micronutrientes</u>	4
2.4.3 <u>Ciclos de los nutrientes</u>	5
2.4.4 <u>Pérdidas de nutrientes</u>	10
2.5 <u>CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES</u>	11
2.5.1 <u>Concentración crítica</u>	14
2.6 <u>NITRÓGENO</u>	15
2.6.1 <u>Características</u>	15
2.6.2 <u>Balance de nitrógeno</u>	15
2.6.3 <u>Situaciones de deficiencias de nitrógeno</u>	17
2.6.4 <u>Requerimientos de nitrógeno</u>	19
2.6.5 <u>Respuesta a la fertilización nitrogenada</u>	20
2.6.6 <u>Mecanismos fisiológicos responsables del crecimiento</u>	23
2.7 <u>APLICACIÓN DE FERTILIZANTE</u>	25
2.7.1 <u>Momento de aplicación de fertilizante</u>	25
2.7.2 <u>Fuentes de nutrientes utilizadas</u>	26
2.7.3 <u>Ubicación del fertilizante</u>	27
2.7.4 <u>Eficiencia de utilización del fertilizante</u>	27
2.7.5 <u>Recuperación de nutrientes</u>	27
2.8 <u>BIOMASA AÉREA</u>	29
2.8.1 <u>Componentes de la biomasa aérea</u>	29
2.8.2 <u>Producción de biomasa</u>	29
2.8.2.1 <u>Efecto de la densidad de plantación</u>	29
2.8.2.2 <u>Efecto de la edad</u>	31
2.8.2.3 <u>Efecto de la fertilidad del suelo y de las dosis de fertilización</u> ..	32
2.8.3 <u>Predicciones de producción de biomasa</u>	35
2.9 <u>ANÁLISIS DE TEJIDOS VEGETALES</u>	36
2.9.1 <u>Análisis foliar</u>	37

2.9.2	<u>Usos del análisis foliar</u>	38
2.9.3	<u>Concentración foliar de nutrientes</u>	38
2.10	<u>ANÁLISIS DE SUELO</u>	39
2.10.1	<u>Métodos de muestreo</u>	39
2.11	<u>CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN</u>	40
3	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	41
3.1	<u>SITIO EXPERIMENTAL</u>	41
3.2	<u>TIPO DE SUELO</u>	41
3.3	<u>HISTORIA DE LA CHACRA Y LABOREO</u>	42
3.4	<u>FERTILIZACIÓN PREVIA</u>	42
3.5	<u>DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS</u>	42
3.6	<u>DISEÑO EXPERIMENTAL</u>	43
3.7	<u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	44
3.8	<u>MEDICIONES</u>	45
3.9	<u>MUESTREO DE ÁRBOLES</u>	46
3.9.1	<u>Muestreo inicial</u>	46
3.9.2	<u>Muestreo final</u>	46
3.10	<u>ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS</u>	47
3.11	<u>COMPONENTES DE RENDIMIENTO</u>	47
3.12	<u>ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS</u>	47
3.13	<u>INFORMACIÓN METEOROLÓGICA</u>	48
3.14	<u>NOMENCLATURA</u>	49
4	<u>RESULTADOS</u>	50
4.1	<u>CRECIMIENTO: EVOLUCIÓN DEL DAP Y LA ALTURA</u>	50
4.2	<u>CÁLCULOS DE RENDIMIENTO</u>	54
4.3	<u>RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS</u>	65
4.4	<u>CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL FERTILIZANTE</u>	70
5	<u>CONCLUSIONES</u>	71
6	<u>RESUMEN</u>	72
7	<u>SUMMARY</u>	73
8	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	74
9	<u>APÉNDICES</u>	77
9.1	<u>INCORPORACIÓN DEL NITRÓGENO</u>	77
9.2	<u>OBSERVACIONES</u>	77
9.3	<u>DESCRIPCIÓN DEL SUELO</u>	78

9.4 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	79
9.5 MEDIDAS PROMEDIO DE DAP Y H.....	81
9.6 MEDIDAS DE LOS AMPi.....	81
9.7 MEDIDAS DE LOS AMPf.....	81
9.8 FÓRMULAS DE CÁLCULOS DE RENDIMIENTO.....	82
9.9 RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS (DAP, ALTURA).....	82
9.10 VALORES DE SOBREVIVENCIA	84
9.11 RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE PESO SECO Y MATERIA SECA.....	84
9.12 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS.....	86
9.13 RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL CONTENIDO DE NITRÓGENO.....	87

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro N°	Página
1. Cualidades de los sitios para el crecimiento óptimo de algunas especies de <i>Eucalyptus</i>	3
2. Resumen de la opinión de diversos autores respecto a los ciclos de los nutrientes	5
3. Comparación entre eucaliptos y coníferas en la proporción de materia seca y contenido de nitrógeno y fósforo del follaje.....	11
4. Contenido de nitrógeno en el suelo, previo a la plantación.....	41
5. Datos analíticos del suelo, del lugar en donde se realizó el experimento.....	41
6. Promedios mensuales de precipitación, temperatura media y humedad relativa media, para el período que duró el experimento.....	49
7. Medidas iniciales y finales de DAP (mm) y ALT (m).....	50
8. Evolución de las variables DAP y ALT entre ambas mediciones. Efecto de las distintas densidades de plantación.....	51
9. Fuentes de variación, iniciales y finales, de DAP y ALT.....	52
10. Valores iniciales y finales de DAP (mm) y ALT (m), para los distintos tratamientos.....	53
11. Evolución de las variables DAP y ALT entre ambas mediciones. Efecto de los distintos tratamientos de fertilización.....	53
12. Peso seco de tallo y corteza de los AMPi; valores individuales por árbol (Kg/árbol) y estimación para la superficie (t/ha).....	54
13. Porcentaje de materia seca (en base verde) de los diferentes componentes de los AMPi.....	55
14. Peso seco (Kg/árbol) para cada componente de los AMPf y peso seco total (t/ha) de la biomasa aérea.....	56
15. Tendencias de PS en función del agregado de nitrógeno y significancia de la tendencia. Modelos ajustados y dosis de urea que habrían maximizado el PS.....	58
17. Incremento de rendimiento comparando PS de tallo más corteza entre el momento inicial y final. Valores de árboles individuales (Kg/ár) y por unidad de superficie (t/ha).....	61
18. Porcentaje de MS (en base verde) de los diferentes componentes de los AMPf.....	63
19. Porcentaje de biomasa aérea en los diferentes componentes de los AMPf, en relación al total.....	63
20. Porcentaje de nitrógeno en relación al peso seco aéreo de los árboles. Datos para cada componente y para la biomasa aérea total de árboles individuales.....	65

21.	Contenido promedio de nitrógeno en los distintos componentes de la biomasa aérea, para dos tratamientos de fertilización. Datos para árboles individuales y para la hectárea.....	66
-----	---	----

Figura N°		Página
1.	Ubicación del área de distribución natural de <i>Eucalyptus dunnii</i>	3
2.	Los tres estados nutricionales distintos en la vida de una parcela forestal.....	8
3.	Distribución de la materia seca y de algunos nutrientes en los componentes de la biomasa aérea, para parcelas adultas de algunas especies de <i>Eucalyptus sp.</i> y otras especies forestales.....	12
4.	Variación en las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en el follaje de <i>Eucalyptus deglupta</i> de 4 años de edad.....	13
5.	Ilustración del concepto de Macy en relación a la respuesta en crecimiento al agregado creciente de nitrógeno.....	14
6.	Relación entre el carbón orgánico del suelo y el requerimiento óptimo de fertilizante nitrogenado y fosforado.....	18
7.	Diámetro promedio de <i>Eucalyptus globulus</i> con distintos tratamientos de fertilización a lo largo de una secuencia de edad.....	21
8.	Desarrollo del IAF en una plantación de <i>Eucalyptus grandis</i> , durante los tres primeros años.....	23
9.	Biomasa (t/há) de hojas, ramas, corteza y tallo de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> a los 13 y 37 meses de edad (To) y las mismas poblaciones a los 17 y 41 meses. Influencia del modo de aplicación de fertilizante NK.....	32
10.	Croquis del sitio experimental.....	43
11.	Evolución de DAP (mm) y ALT (m) entre el momento inicial y Final.....	51
12.	Efecto de los distintos tratamientos en los PS de la plantación de 3333 pl/ha.....	59
13.	Biomasa aérea de los distintos componentes. Influencia de los diferentes tratamientos de fertilización en las dos densidades poblacionales en estudio.....	60
14.	Efecto de los diferentes tratamientos de fertilización en el PS de tallo más corteza.....	62
15.	Contenido promedio de nitrógeno (g/ár) en los distintos componentes de la biomasa aérea, para dos tratamientos de fertilización nitrogenada. Datos para árboles individuales.....	67
16.	Porcentaje de nitrógeno en los distintos componentes de la biomasa aérea, en relación al contenido total.....	68

1 INTRODUCCION

La nutrición es un factor clave en la determinación de la productividad en las plantaciones forestales y la adición de fertilizantes frecuentemente incrementa el rendimiento, (Dighton et al, 1992).

El manejo nutricional de una población forestal requiere la cuantificación de los flujos de nutrientes en el sistema. En las plantaciones forestales, la cantidad de nutrientes existentes en el suelo y la exportada durante la cosecha de la plantación, son de gran importancia en la definición del balance de nutrientes y la eventual necesidad de aplicación de fertilizantes. De modo general, los mayores crecimientos de especies forestales han sido obtenidos por la aplicación de fósforo (Gentile et al, 1965; Mello et al, 1970; Barros et al, 1981; Cromer et al, 1985; citados por Melo et al, 1995) y, dependiendo de las condiciones locales, pueden obtenerse respuestas positivas a la fertilización nitrogenada y potásica (Hunter, 1983; Barros et al, 1981; citados por Melo et al, 1995).

El conocimiento de los mecanismos que regulan la producción y distribución de fotoasimilados en las plantas, es importante para la adopción de técnicas silviculturales (como espaciamiento, podas, aplicación de nutrientes, incluso adecuada elección de especie) de modo de obtener productos específicos. El conocimiento de la dinámica de nutrientes en poblaciones con diferentes densidades de plantación, permite establecer estrategias de manejo nutricional para obtener una producción forestal sostenida, (Leite et al, 1998).

La investigación realizada por Oliveira Neto et al (1996) evidencia que el espaciamiento de las poblaciones forestales y la fertilización, pueden ser manejados de manera de optimizar la producción en plantaciones forestales.

El propósito del presente trabajo es determinar la combinación de dosis de fertilizante nitrogenado y la densidad de plantación, que permita obtener mayor biomasa aérea de *Eucalyptus dunnii* Maiden, para la producción de materia prima con fines energéticos.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 INTRODUCCION DE LA REVISION

A pesar de ser la fertilización una práctica de uso frecuente y muy difundida, las respuestas de los eucaliptos a la fertilización nitrogenada no han sido muy consistentes. En la fase inicial de crecimiento de las plantaciones es cuando se observan respuestas significativas a este nutriente (según varios autores citados por Godinho et al, 1996). En estadios más avanzados se observó la desaparición de respuesta o la tendencia de disminución (Barros y Pritchett, 1979; citados por Godinho et al, 1996).

Ladeira et al (1996) afirman que la producción y distribución de biomasa de un árbol está afectada por la especie (incluso por la procedencia), el espaciamiento entre plantas, las características del sitio y la edad de la planta.

2.2 CARACTERISTICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

Según Hillis et al (1984), *Eucalyptus dunnii* es una especie de árboles muy altos, generalmente de más de 40 metros de altura. Crecen naturalmente en un área muy restringida del noreste de New South Wales y del sur de Queensland, Australia, **figura 1**. Esta especie crece naturalmente en sitios fértiles donde recibe 1000 a 1800mm anuales de lluvia, con régimen de precipitación estacional de verano, según Boland et al, 1984 (citado por Barros et al, 1990).

Los mismos autores indican que el clima, en la región de distribución natural de *Eucalyptus dunnii*, es cálido y húmedo. La amplitud de las temperaturas extremas corresponde a 27-30°C para la máxima y 0-3°C en el caso de la mínima. Esta especie siempre se encuentra en zonas bajas y en fondos de valles. Esos suelos son, en general, profundos y bien drenados y soportan una vegetación de selva lluviosa, esto es, diversificada, densa y con vigoroso sotobosque.

Se ha clasificado la calidad de los sitios de ocurrencia más frecuente de diversas especies de eucaliptos; se clasificó en cuanto al aspecto general, en términos de vegetación presente en el área donde crece esta especie. *Eucalyptus dunnii* solo fue encontrado en sitios de calidad 1, que corresponde a los mejores sitios, los de vegetación pluvial, de tipo selvática, (Barros et al, 1990).

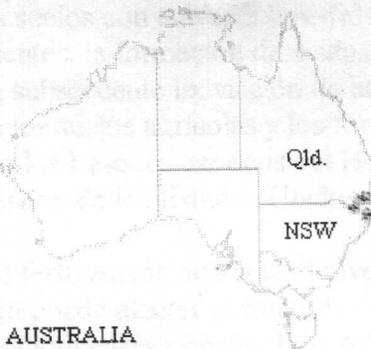


Figura 1: Ubicación del área de distribución natural de *Eucalyptus dunnii*.

Cuadro N° 1: Cualidades de los sitios para el crecimiento óptimo de algunas especies de *Eucalyptus* (Attiwill et al, 1996).

	Prof efectiva de enraizamiento (cm)	Precipitación media anual (mm)	Temp media anual (°C)
<i>E. dunnii</i>	>50	>850	>15
<i>E. grandis</i>	60	900	16
<i>E. saligna</i>	55	900	15.5

Esta especie no ha sido ampliamente evaluada creciendo como exótica, pero es uno de los eucaliptos de más rápido crecimiento en áreas de clima adecuado en Brasil y Sudáfrica. Tiene una ventaja al ser, en cierta forma, más tolerante a las heladas que otras. La escasa producción de semillas es lo que probablemente, impidió que haya sido más usada en plantación. En Australia, la madera de forestaciones naturales de ésta especie es usada con propósitos de construcciones livianas pero no tiene la elevada reputación de *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus microcorys*. Una gran desventaja que ha sufrido esta especie es la severa defoliación por escarabajos (del género *Anoplognatus*), causando la restricción de su plantación para pulpa en las áreas de lluvias de verano, (Hillis et al, 1984).

2.3 CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO FORESTAL

Un carácter distintivo de los suelos con cubierta forestal consiste en el gran dinamismo de los ciclos de nutrientes, la formación de ácidos orgánicos a partir de residuos en descomposición y la subsecuente lixiviación de bases. Aún continúa existiendo cierto contraste entre los suelos agrícolas y los forestales, pero el mismo ha disminuido considerablemente en los bosques exóticos del Hemisferio Sur, en los bosques de rotación corta del sureste de los Estados Unidos y en otras regiones, (Pritchett, 1991).

El mismo autor indica que la fertilización aumentó el nivel de nutrientes de la superficie del suelo, pero también puede afectar el ritmo de descomposición de la capa orgánica. Esta práctica ejerce una influencia a corto plazo sobre la característica de la superficie y hacen a los suelos cada vez más semejantes a los agrícolas. Lo bueno de estos cambios es que son relativamente temporales y existen solamente hasta que la cubierta forestal vuelve a quedar bien establecida. Con el desarrollo del follaje forestal y de una capa de humus sobre el suelo, éste vuelve a adquirir muchas propiedades que lo distinguen de los suelos de cultivos.

2.4 NUTRIENTES

Pritchett (1991), menciona que en los lugares donde hay uno o más nutrientes en cantidad limitada, los árboles son incapaces de fijar su energía a un ritmo satisfactorio y tampoco pueden utilizar otros elementos nutritivos en el grado en que están disponibles. Las deficiencias de nutrientes o sus desequilibrios, así como la acidez del suelo, tienen gran probabilidad de limitar el crecimiento, la distribución y el desarrollo de las raíces de las plantas de regiones húmedas, tales como las del área de distribución natural de *Eucalyptus dunnii*.

Los nutrientes más estudiados son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, por ser los que más limitan la producción primaria neta y otras funciones del ecosistema.

2.4.1 Macronutrientes

Hay dos grupos de macronutrientes; los denominados nutrientes vegetales primarios, que son nitrógeno, fósforo y potasio. Se denominan así porque las plantas los consumen en cantidades relativamente grandes y, muy a menudo, están deficientes en el suelo. A su vez hay otro grupo llamado nutrientes vegetales secundarios. Estos también son consumidos en cantidades abundantes por las plantas, pero por lo general, no son deficientes en los suelos. Calcio, magnesio y azufre corresponden a este grupo.

2.4.2 Micronutrientes

Son elementos esenciales para el crecimiento vegetal aunque se requieren en muy pequeñas cantidades, por lo que también se les llama elementos traza. Se trata de hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloro.

2.4.3 Ciclos de los nutrientes

Los estudios de estos ciclos, además de permitir la selección de especies con bases en la eficiencia de utilización de nutrientes, asisten en la determinación de métodos de manejo como edad de rotación, nivel de utilización del árbol y fertilización, de forma de minimizar efectos en el estado nutricional de las plantas en subsiguientes rotaciones, (Reis, 1987).

Previo al desarrollo de los ciclos, se presenta un cuadro en donde se sintetiza la opinión de distintos autores. Estos procesos pueden combinarse para proveer una completa visión del ciclo de nutrientes en una forestación madura.

Cuadro N° 2: Resumen de la opinión de diversos autores respecto a los ciclos de los nutrientes.

Ciclos de los nutrientes		Estados nutricionales
Remezov (1959)	Switzer y Nelson (1972)	Miller (1979, 1981, 1984) y (1979, 1981) ¹
a) Ciclos geoquímicos (externos)	a) Ciclos geoquímicos	Estado I: previo al cierre del follaje
b) Ciclos biológicos (internos)	b)1- Ciclos bioquímicos	Estado II: posterior al cierre del follaje
	b)2- Ciclos biogeoquímicos	Estado III: mantenimiento de la plantación

Remezov, 1959 (citado por Pritchett, 1991) reconoció dos ciclos principales de nutrientes en los ecosistemas forestales, los cuales se describen a continuación.

a) Un **ciclo geoquímico** (externo): sistema abierto, se refiere a la importación – exportación de nutrientes en el ecosistema. Los ciclos geoquímicos suponen la transferencia de elementos minerales entre el interior y el exterior del ecosistema. La entrada de nutrientes estaría dada a partir de fuentes como polvo, precipitación, intemperización de la roca madre, fijación biológica y fertilización; la salida incluiría lixiviación, pérdidas por erosión hídrica, por volatilización y por denitrificación, además de la eliminación en las cosechas, (Pritchett, 1991).

El mismo autor indica que la aplicación de fertilizantes constituye un medio adecuado para aumentar los ritmos en la circulación de nutrientes, así como el crecimiento de los árboles en campos deficientes de nutrientes. La adición de fertilizantes puede acelerar la descomposición de los materiales acumulados en la cubierta forestal y apresurar el proceso de recirculación.

¹ Citados por Attiwill et al (1996). No se trata de ciclos en sí, sino de estados de distribución de los nutrientes durante el crecimiento de los bosques forestales.

b) Un ciclo biológico (interno): sistema cerrado, implica los intercambios planta-suelo de los nutrientes. En los ecosistemas forestales esto puede incluir también la circulación interna de nutrientes a través de los órganos internos del árbol. Los principales pasos de los ciclos cerrados son:

- captación o absorción
- retención o acumulación y distribución de nutrientes
- restitución o retorno
- transferencias internas, los cuales se desarrollan a continuación.

Captación o absorción: se destaca que la absorción de nutrientes por la mayoría de las especies forestales es del mismo tipo que la de muchos cultivos agrícolas; sin embargo, como la mayor parte de los nutrientes absorbidos se devuelven a la cubierta forestal o circulan dentro del árbol, son relativamente pequeñas las cantidades que se retienen cada año como aumentos anuales en la biomasa.

Según Gonçalves et al (1999), la cantidad de nutrientes absorbidos por los árboles en un determinado tiempo está influenciada por cuatro factores. Ellos son la necesidad total de nutrientes, la velocidad de crecimiento de los árboles, la eficiencia de uso de los nutrientes en los procesos metabólicos y la capacidad de absorción de nutrientes del suelo. Por influir en la absorción de los nutrientes, estos factores también afectan la probabilidad de respuesta a la fertilización.

Godinho et al (1996), indican que la absorción puede ser estimada por la diferencia entre el contenido final y el inicial de nutriente en las plantas seleccionadas en el muestreo.

Retención o acumulación y distribución: se la considera como la diferencia entre la absorción total de nutrientes y la cantidad que es devuelta al suelo como raíces, hojas y ramas muertas. Se calcula como el cambio en la composición química de los tejidos que manifiestan modificación periódica de biomasa.

En experimentos realizados por Cromer et al (1982), con *Eucalyptus globulus*, se concluyó que el agregado de fertilizantes resultó en muy grandes incrementos en las tasas de acumulación de nutrientes. Para el nitrógeno, el máximo de acumulación logrado por los árboles más fuertemente fertilizados fue de $2.5\text{g/m}^2/\text{año}$ (25 Kg/ha/año), valor alcanzado con menos de dos años de edad. El efecto de fertilizar desapareció durante el período 6-9.5 años, siendo la acumulación a esa edad, idéntica entre árboles con y sin fertilizar.

El nitrógeno y el potasio son los nutrientes acumulados en mayores cantidades en las poblaciones de *Eucalyptus*, (Texeira, 1987; Morais, 1988; Galo, 1993; citados por Godinho et al, 1996).

Restitución o retorno: existe un porcentaje de restitución de nutrientes, debido a que una importante proporción de lo absorbido es reintegrada al suelo bajo forma de restos vegetales. Es muy variable la proporción de nitrógeno que retorna al suelo, entre 38 y 88%; para el caso del fósforo, generalmente la restitución no llega a valores máximos tan altos, siendo similar a la de potasio, de 55% aproximadamente, (Pritchett, 1991). Según Wells y Jorgensen, 1975 (citados por Pritchett, 1991), a medida que los árboles crecen, son capaces de extraer una mayor proporción de nutrientes de la parte inferior del perfil del suelo, pero es probable que la mayor parte de sus necesidades se satisfaga por medio de la circulación de dichos nutrientes. Como resultado, el horizonte A alcanza un equilibrio que se mantiene con el aporte de restos vegetales a la cubierta forestal y por la muerte de raíces.

Transferencias internas: Duvigneaud et al, 1970 (citados por Pritchett, 1991), demostraron que la concentración de nutrientes en la savia xilemática de los bosques caducifolios, tiene variaciones estacionales. La concentración es máxima en primavera, decrece en verano, tiene un nuevo incremento otoñal y luego vuelve a disminuir en invierno. Hay un movimiento de nutrientes desde los órganos seniles a los puntos de crecimiento activo del árbol. Las hojas jóvenes siempre son más ricas en nitrógeno, fósforo y potasio, pero son deficientes en calcio respecto a las hojas maduras. Luego, mientras crecen, ocurre una disminución constante de los nutrientes que estaban en alta concentración; en el caso de las hojas totalmente desarrolladas, en la época de crecimiento las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio no se ven modificadas.

Switzer y Nelson, 1972 (citados por Pritchett, 1991) propusieron que el ciclo biológico (definido por Remezov 1959) se dividiera en dos partes:

a) Ciclo geoquímico: coincidente con lo definido por Remezov, 1959 (mencionado en páginas anteriores).

b)1- Ciclo bioquímico: trata sobre el transporte de los nutrientes dentro del árbol. La circulación interna de nutrientes puede explicar las respuestas de crecimiento a largo plazo, luego de realizar fertilizaciones especialmente con fósforo y potasio, según Switzer y Nelson. Ambos autores sostienen que las transferencias internas son de gran importancia; este es el motivo por el cual, en lugar de incluirlas como la última etapa de los ciclos biológicos, las consideran un ciclo independiente.

Para los nutrientes móviles en el floema y particularmente, aquellos que limitan en gran medida el crecimiento de los árboles, los ciclos bioquímicos dentro de las plantas tienen mucho significado; es la vía de mayor aporte de fósforo (Attiwill et al 1980, 1981) y nitrógeno (O'Connell et al, 1978; Baker y Attiwill et al , 1981) en el crecimiento de las poblaciones de *Eucalyptus sp.* naturales, (nativas de Australia), (citados por Attiwill et al, 1996). La retranslocación de nutrientes desde las hojas constituye el mayor componente (34-92%) de los ciclos bioquímicos de nitrógeno, fósforo y potasio en los eucaliptos (Attiwill et al, 1980; Turner y Lambert, 1983; Baker y Attiwill et al, 1985; citados por Attiwill et al, 1996). La redistribución de estos nutrientes

durante la transición a duramen es también un componente significativo del ciclo bioquímico. La retranslocación desde las ramas es menos significativa y, desde la corteza, es variable para las diferentes especies.

b)2- Ciclo bioquímico: trata sobre la relación suelo-planta, la transferencia entre el suelo y la biomasa arbórea.

Estos ciclos implican el retorno de nutrientes de las plantas al suelo (Switzer et al, 1972). Esta es la vía más importante en el ciclaje de nutrientes inmóviles dentro de las plantas, o relativamente inmóviles, como el calcio y para nutrientes que han sido lavados del follaje de los árboles, como el potasio (Attiwill et al, 1980, 1981; O'Connell, 1985; citados por Attiwill et al, 1996).

Miller y Attiwill (citados por Cromer et al, 1993 y por Attiwill et al, 1996) propusieron tres estados nutricionales distintos en la vida de una forestación. Existe gran similitud entre dichos estados, (que se describen a continuación) y los ciclos definidos por Switzer y Nelson, mencionados anteriormente. La **figura 2** muestra gráficamente los tres estados nutricionales en la vida de una parcela forestal, como fuera planteada hipotéticamente por el autor, (Miller, 1981).

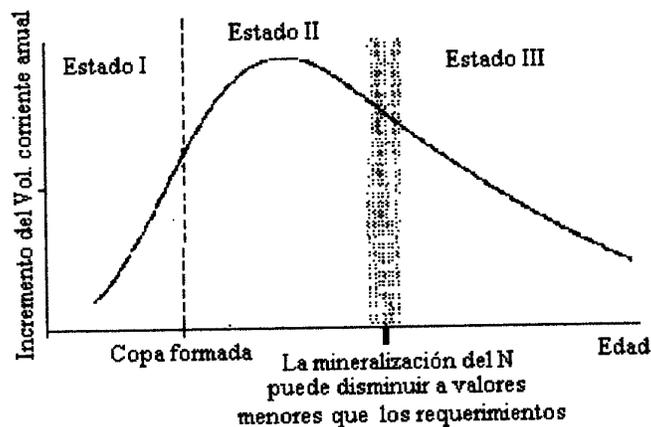


Figura 2: Los tres estados nutricionales distintos, en la vida de una parcela forestal (Miller, 1981).

Estado I: durante los primeros años (previos al cierre del follaje), cuando el crecimiento de los árboles es muy dependiente de los nutrientes del suelo y cuando pueden esperarse respuestas en crecimiento al agregado de nutrientes. La mayoría de la productividad primaria neta corresponde al crecimiento del follaje, con relativamente altas concentraciones de nutrientes (Cromer et al, 1993; Grove y Malajczuk, 1995;

citados por Attiwill et al, 1996). Existe muy poca redistribución de nutrientes y está asociada a la senescencia foliar. La mayor proporción de los nutrientes absorbidos es retenida en el árbol (Attiwill et al, 1996). En este estado ocurre cierta retranslocación de nutrientes desde follaje viejo a joven, (Leuning et al, 1991; citados por Cromer et al, 1993) pero el crecimiento de los árboles seguramente esté limitado por el aporte de nutrientes del suelo, debido a que existe una gran demanda y a la escasa exploración del suelo por las raíces (Attiwill et al, 1996).

Cromer et al (1993) evaluaron el efecto de la fertilización en la acumulación de biomasa de *Eucalyptus grandis*, durante los tres primeros años de edad. En sus estudios encontraron que la tasa de crecimiento de los árboles en parcelas sin fertilizar, fue inhibida por el bajo aporte de nutrientes del suelo, particularmente durante el período previo al cierre del follaje.

Estado II: después del cierre del follaje cuando la biomasa foliar es relativamente estable y la mayoría de la productividad primaria neta corresponde a la formación de duramen. La tasa de acumulación de nutrientes disminuye en este estado debido a que el contenido de nutrientes de la madera generalmente es bajo. Durante este estado, la exploración del suelo por las raíces finas es máxima y los procesos de circulación de nutrientes estarán en total desarrollo, (Attiwill et al, 1996). En esta etapa no hay respuesta a la fertilización, a no ser que la biomasa del follaje deba ser reconstruida (Miller, 1981; citado por Cromer et al, 1993). Los nutrientes continúan la retranslocación y son reciclados a través del suelo, siendo éstas las fuentes más importantes para el crecimiento en esta etapa.

Estado III: la mayor parte de la productividad primaria neta, en este estado de crecimiento se asocia al mantenimiento de la población, (según Attiwill et al, 1979 y 1981; citado por Attiwill et al, 1996). En sitios con bajo contenido de nitrógeno, ocurre inmovilización del mismo en la biomasa y humus. Por lo tanto, los árboles avanzan a un desarrollo progresivo de deficiencia; esta deficiencia tiende a desaparecer cuando la demanda de los árboles decae con la edad (Miller, 1981; citado por Cromer et al, 1993).

Una de las mayores vías de transferencia de energía y nutrientes en los ecosistemas forestales, es a través de la producción y caída de restos vegetales de los árboles. Según Attiwill et al (1996), alrededor del 50% de residuos secos de *Eucalyptus obliqua*, caen durante los tres meses de verano (Dic - Feb). En este período, la caída de hojas corresponde al 75% del material total. Estos residuos de verano, contienen 40-60% del total de nutrientes caídos. En general, las concentraciones de calcio, magnesio, sodio y potasio de los residuos fueron máximas a fines de verano y al inicio del otoño. En cambio, en ese mismo período la concentración de fósforo de los residuos fue mínima.

La calidad del sustrato, la comunidad de organismos del suelo y las condiciones ambientales, regulan las tasas de descomposición de los residuos y por consiguiente, regulan la liberación de nutrientes a la solución del suelo, desde donde son absorbidos

por las plantas, (Heal, 1979; Berg y Staaf, 1981; citados en Jorn. For. de Entre Ríos, 1995).

Los factores que causan más variaciones en los ciclos de nutrientes de los ecosistemas forestales son: el clima, la composición de especies, el estado sucesional (edad de la parcela o tiempo desde el disturbio) y la fertilidad del suelo, (Vitousek et al, 1986). Todos estos factores se ven reflejados en la producción de biomasa aérea total.

Las técnicas de análisis químicos usadas para suelos agrícolas fértiles, no funcionan bien en suelos pobres usados generalmente para plantaciones forestales y la disponibilidad de nutrientes en estos suelos, es más dependiente de las tasas de ciclos, que del monto del pool de nutrientes, (Dighton et al, 1991).

2.4.4 Pérdidas de nutrientes

Las pérdidas de nutrientes por drenaje (lixiviación y escurrimiento superficial) de los sistemas forestales no alterados, son mínimas. Las pérdidas por volatilización en los suelos forestales probablemente sean insignificantes debido a que las condiciones predominantes ($\text{pH} < 7$, lo cual disminuye la oxidación del NH_4 a nitrito o nitrato), no favorecen la formación de las formas gaseosas de nitrógeno, (Pritchett, 1991).

Las pérdidas altas se asocian a una alta alcalinidad inicial del suelo, alta actividad ureica, baja capacidad de absorción de amonio, alta temperatura, baja capacidad de nitrificación y baja humedad del suelo, según Nommik, 1973, (citado por Pritchett, 1991).

2.5 CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES

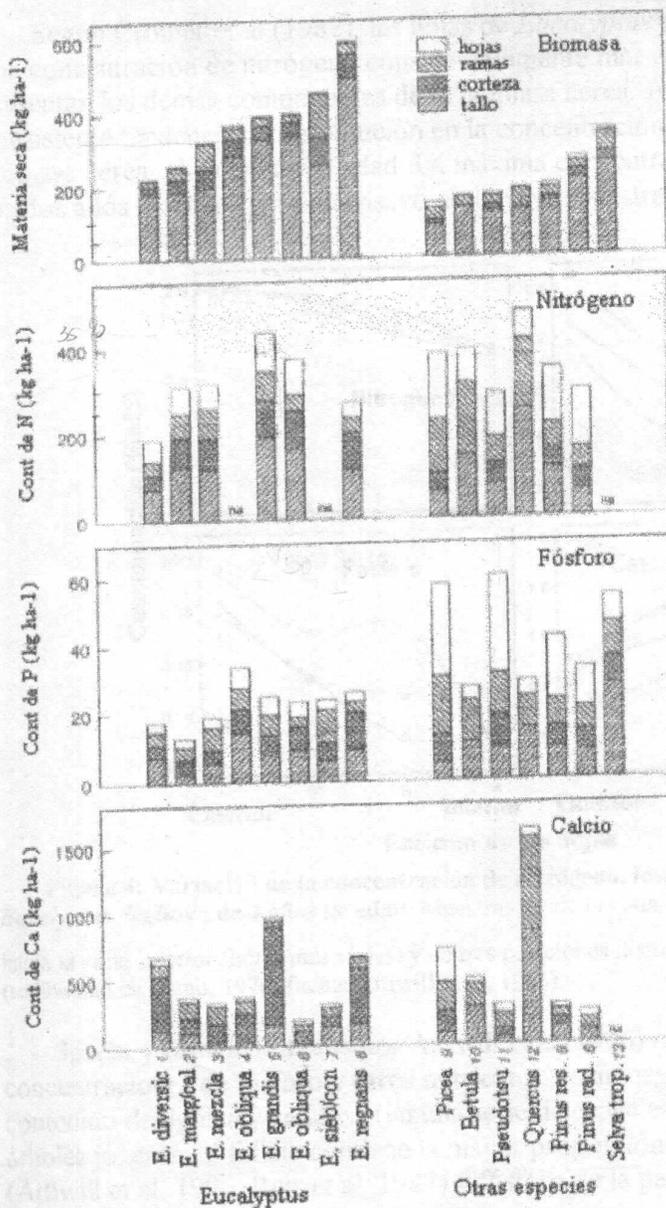
Según Attiwill et al (1996) hay escasa información sobre eucaliptos acerca de la distribución y acumulación de varias formas orgánicas e inorgánicas de nutrientes, particularmente para nitrógeno, aunque éste ha sido extensamente estudiado en árboles frutales y otros árboles forestales.

Estudiando la concentración de nutrientes en *Eucalyptus globulus*, se encontró una tendencia consistentemente decreciente con la edad. Esto ocurrió en todos los componentes de la biomasa aérea. También se observó que la disminución en la concentración de fósforo, fue menor que la de nitrógeno (Cromer et al, 1982).

Cuadro N° 3: Comparación entre eucaliptos y coníferas en la proporción de materia seca y contenido de nitrógeno y fósforo del follaje.

	Como % de la MS total	Máx. cont. de N, respecto al cont. total	Máx. cont. de P, respecto al cont. total
Follaje de eucaliptos	2	20 %	17 %
Follaje de coníferas	7	40 %	45 %

A pesar de que el rango de contenido de nitrógeno de los eucaliptos es similar al de otros géneros, la mayor biomasa que presentan resulta en una menor concentración de nitrógeno (Attiwill et al, 1996), como lo muestra la **figura 3**. A su vez se observa que la concentración de nitrógeno en las ramas de los eucaliptos es generalmente menor que en las de coníferas. En la mayoría de los casos, el follaje representa una pequeña proporción de la biomasa de árboles adultos, pero contiene una gran proporción de nutrientes, (Reis et al, 1987; Attiwill et al, 1996). Los árboles del género en estudio tienen un contenido particularmente bajo de fósforo en los componentes aéreos y generalmente poseen menores montos de nitrógeno que las especies del hemisferio norte.



Las diferentes parcelas se distinguen según un nombre abreviado y un número de referencia. Referencias:

- 1, Hingston et al. (1979);
- 2, Hingston et al. (1981);
- 3, Hopmans et al. (1993);
- 4, Attiwill (1979, 1980);
- 5, Turner y Lambert (1983);
- 6, Baker y Attiwill (1985);
- 7, Turner y Lambert (1986);
- 8, Feller (1980);
- 9, Alban et al. (1978);
- 10, Ovington y Madgwick (1959a, 1959b);
- 11, Cole et al. (1967) citado por van der Driessche (1984);
- 12, Rolfe et al. (1978);
- 13, Turner et al. (1989).

Fuente: Attiwill (1996).

Figura 3: Distribución de la materia seca y de algunos nutrientes en los componentes de la biomasa aérea, para parcelas adultas de algunas especies de *Eucalyptus sp.* y otras especies forestales.

Según Cromer et al (1982), las hojas de *Eucalyptus globulus ssp. globulus* contienen una concentración de nitrógeno considerablemente más elevada respecto a la que presentan los demás componentes de la biomasa aérea. A su vez, encontraron una consistente tendencia de disminución en la concentración en todos los componentes de la biomasa aérea, al aumentar la edad. La máxima concentración de N y P fue registrada a los dos años de edad (pero su ensayo no incluyó muestreos previos a esa edad).

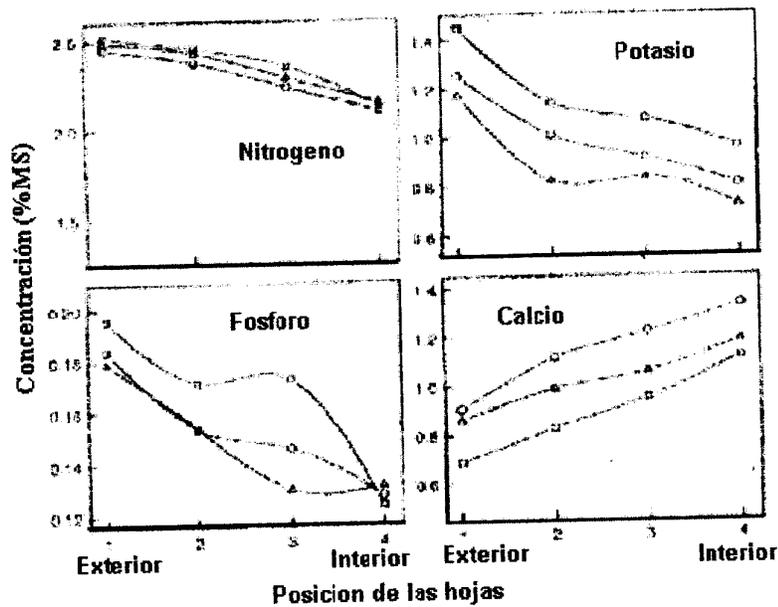


Figura 4: Variación de la concentración de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en el follaje de *Eucalyptus deglupta* de 4 años de edad. Muestras desde la zona exterior de la copa (hojas más jóvenes) hacia la zona interior (hojas más viejas) y de tres posiciones distintas: \square alta \circ media \triangle baja (redibujado de Lamb, 1976; fuente Attiwill et al, 1996).

Specht y Rundle (citados por Attiwill et al, 1996) observaron que las concentraciones de fósforo y otros nutrientes, están negativamente relacionados al contenido de lignina y celulosa (en una serie de especies nativas de Australia). En árboles jóvenes, el follaje contiene la mayor proporción del contenido de nitrógeno (Attiwill et al, 1996; Reis et al, 1987) y fósforo de la parte aérea (Cromer et al, 1982); en árboles de más edad, los tallos y las ramas contienen la mayoría de los nutrientes del árbol (Attiwill et al, 1996).

La disminución en la concentración de nutrientes en algunos componentes de la biomasa aérea, se relaciona a las funciones y moviidades de cada nutriente dentro de los árboles. La retranslocación de nitrógeno y fósforo desde las hojas adultas para suplir los requerimientos de los nuevos brotes influye, en gran medida, en las variaciones de las concentraciones. En cambio, el calcio muestra una tendencia opuesta a la de los elementos mencionados. Por ser un nutriente relativamente inmóvil dentro de las

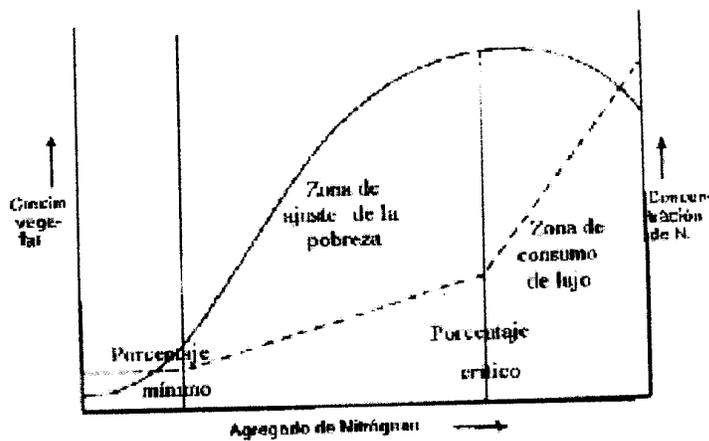


Figura 5: Ilustración del concepto de Macy en relación a la respuesta en crecimiento al agregado creciente de nitrógeno, (Hauck, 1984).

plantas (Loneragan et al, 1976, citado por Attiwill et al, 1996), continúa acumulándose en las hojas a medida que éstas envejecen. Las variaciones en la concentración de calcio, por lo tanto, reflejan muy cercanamente la variación de edad de las hojas, (Attiwill et al, 1996).

En el follaje de eucaliptos se ha encontrado variación estacional significativa del contenido de nutrientes (Shönau, 1981; Bell y Ward, 1984; Knight, 1988; citados por Attiwill et al, 1996). En primavera se observó un incremento en la concentración de nitrógeno en el follaje de *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus wandoo* de seis años de edad (Bell y Ward, 1984; citados por Attiwill et al, 1996). Las concentraciones de nitrógeno y fósforo en hojas maduras de *Eucalyptus marginata* incrementan desde mediados de invierno, tienen su pico máximo en la segunda mitad del verano (en el momento de máxima caída foliar) y luego decrecen (Hingston, Galbraith y Dimmock citado como com. pers. según Attiwill et al, 1996).

2.5.1 Concentración crítica

Por crítica, se define a una escala de concentración de nutrientes en la planta, por encima de la cual no habría respuesta significativa a las aplicaciones del elemento. En cambio, cabría esperar que los árboles que en sus tejidos tengan un contenido de nutriente menor al de la concentración crítica, respondieran a la aplicación del elemento, (Pritchett, 1991).

También se definió a la concentración crítica como la concentración de un nutriente en el punto que separa la zona de deficiencia de la zona de concentración adecuada, según Macy, 1936 (citado por Hauck, 1984), ilustrado en la **figura 5**. En este sentido, el concepto de concentración crítica es útil, en teoría. En cambio, no sirve como una guía práctica para la aplicación de fertilizante a lo largo de la estación de crecimiento (para la mayoría de los cultivos). Si un análisis de tejido vegetal muestra una condición de

deficiencia, el fertilizante no puede ser aplicado y el nitrógeno ser absorbido antes de que ocurra un largo período de deficiencia.

2.6 NITRÓGENO

Se trata de un macronutriente que, junto con el fósforo, comunmente son factores limitantes en el crecimiento de las plantas. A esto se debe que sean componentes primarios de muchos fertilizantes. El ciclaje y la disponibilidad de nitrógeno dependen de factores como acidez del suelo y actividad de microorganismos, (Musto, 1991). La forma en que las plantas asimilan más comunmente al nitrógeno es como iones de nitrato y, en ciertos casos, también es absorbido como ion amonio, (NO_3^- y NH_4^+ , respectivamente).

2.6.1 Características

El nitrógeno en las plantas participa de ambas formas, como componente inorgánico y como constituyente funcional de varios componentes orgánicos. El *nitrógeno inorgánico* es un indicador de cuánta cantidad del nitrógeno agregado está disponible para el metabolismo, en un momento dado. El nitrógeno contenido en las formas inorgánicas, en las proteínas de reserva y en la clorofila, sirve como el mejor indicador del status de nitrógeno en la planta. En cambio, las reservas de *nitrógeno orgánicas* reflejan qué ha sido prioritario realizar (hasta el momento del estudio), con el aporte de nutriente que recibieron las plantas, (Hauck, 1984).

Los compuestos de nitrógeno en las plantas son continuamente degradados, retranslocados y resintetizados en nuevos compuestos. Las hojas adultas son competidoras pobres para recibir los productos de síntesis, debido a la existencia de competición interna por nitrógeno dentro de una planta. Las hojas nuevas y los frutos son fuertes fosas para los metabolitos. Debido a esto, la edad de las hojas es una consideración más importante que la ubicación de las mismas. En los árboles, se encuentran hojas adultas y nuevas a lo largo de la planta entera, (Hauck, 1984).

Weisz et al (1975), mencionan que las plantas verdes creciendo en suelos pobres en nitrógeno, exhiben un color amarillento, estado conocido como clorosis. Dicho estado, debido a la competencia interna mencionada, inicialmente ocurre en las hojas más viejas.

2.6.2 Balace de nitrógeno

El contenido de nitrógeno del suelo, es el resultado de las pérdidas y ganancias que ocurran en el mismo. (Los mecanismos de ganancia y pérdida de nitrógeno, fueron extraídos de Perdomo et al, 1999).

Los **mecanismos de ganancia** de N son aporte de lluvia, fijación simbiótica y no simbiótica, N proveniente de abonos orgánicos y de fertilizantes así como de mineralización de restos frescos.

Aporte con las lluvias: es de escasa relevancia en la producción agrícola. La mayoría del nitrógeno que vuelve al suelo proviene del nitrógeno liberado durante la quema de combustibles fósiles y bosques. Esto explica la tendencia creciente en las cantidades de nitrógeno aportadas por este mecanismo en años recientes.

Fijación simbiótica: es particularmente importante en la producción agropecuaria de nuestro país, en los casos en que se realizan rotaciones de cultivos con praderas mezclas de leguminosas y gramíneas.

Fijación no simbiótica: no existen dudas de que algo de este tipo de fijación siempre ocurre en el campo, aunque solo hay escasas referencias de su magnitud.

Abonos orgánicos y fertilizantes: es posible suministrar parte del nitrógeno requerido por los cultivos, como fertilizante. Actualmente los fertilizantes de origen químico constituyen una fuente importante de nitrógeno en muchos sistemas agrícolas.

Mineralización del nitrógeno orgánico: este mecanismo, ha sido una fuente significativa de nitrógeno por muchos años. El término mineralización se puede usar para referirse al pasaje de nitrógeno orgánico a inorgánico (NH_4^+ , NO_3^-) o bien, al pasaje de nitrógeno orgánico a formas amoniacales (NH_4^+). Según Hauck (1984), pH bajos del suelo enlentecen la tasa a la cual el nitrógeno orgánico es mineralizado, probablemente porque solo una parte de la población microbiana tiene la habilidad de adaptarse a un ambiente más ácido. Los factores químicos del suelo responsables de inhibir la mineralización, muy probablemente son una combinación de las toxicidades de hidrógeno y aluminio, junto con una deficiencia de calcio.

Los **mecanismos de pérdida** más importantes corresponden a N extraído del sistema por cultivos y animales; también sucede inmovilización, lixiviación (o lavado), desnitrificación (o denitrificación), volatilización y erosión. Estos procesos de pérdida, en la práctica, implican la disminución de nitrógeno disponible para las plantas. De ellos, el lixiviado y la denitrificación usualmente son considerados de mayor importancia (Legg et al, 1982; citados por Hauck, 1984) y ocurren ambos en condiciones de exceso de agua en los suelos (Perdomo et al, 1999).

Extracciones en los productos agropecuarios: cuanto más intensivo es el sistema, más posibilidades existe de que el nivel de fertilidad del suelo se vea afectado. Esto puede evitarse con diversas medidas de manejo.

Inmovilización: es el proceso opuesto a la mineralización. Es la transformación del nitrógeno inorgánico del suelo (NH_4^+ , NO_2^- o NO_3^-) en nitrógeno orgánico. Es realizada por los microorganismos que, en la práctica, absorben el nitrógeno mineral y los usan para formar sus propias proteínas.

Pérdidas de NO_2^- o NO_3^- :

- Lixiviación: debido a su carga negativa, el NO_3^- no puede ser retenido por la fracción coloidal del suelo. Por este motivo, el agua que se mueve a través del mismo, puede lavarlo hacia los horizontes inferiores.

- Denitrificación: es un proceso de reducción biológica realizado en el suelo por microorganismos anaerobios facultativos. En condiciones de anaerobiosis, utilizan NO_2^- o NO_3^- en lugar de O_2 como receptores de electrones, produciéndose así dos formas gaseosas de nitrógeno, N_2O (óxido nitroso) y N_2 (nitrógeno molecular). El tipo y cantidad de nitrógeno gas producido, durante la reducción, depende de la población microbiana, que a su vez depende de las condiciones del suelo. El pH óptimo para la denitrificación es 7.0 - 7.5 (Firestone, 1982; Focht y Verstraete, 1977; citados por Hauck, 1984).

Por tratarse de formas gaseosas, este proceso causa la pérdida hacia la atmósfera del nitrógeno aplicado al sistema. Mediante estudios Hauck, 1981 (citado por Perdomo et al, 1999) estima que promedialmente del 25 al 30 % del nitrógeno aplicado como fertilizante se pierde por denitrificación.

Pérdidas de NH_3 :

- Volatilización: este es otro proceso de pérdida de nitrógeno hacia la atmósfera. Estas pérdidas pueden ocurrir siempre que existan altas concentraciones de NH_3 cerca de la superficie del suelo. Esto generalmente ocurre luego de una aplicación de fertilizantes amoniacales o materia orgánica fácilmente descomponible, en la superficie de suelos neutros o alcalinos; también, cuando se concentra un fertilizante alcalino amoniacal en un volumen limitado de suelo.

Gardner, 1965 (citados por Hauck, 1984) concluyó que las pérdidas de NH_3 son insignificantes en suelos con pH menor a 7.0. Terman, 1979 (citado por los mismos autores) confirma lo anunciado por Gardner y afirma que las pérdidas de nitrógeno aplicado en suelo de pH 8.0, pueden llegar a ser mayores al 50 % de lo aplicado. La urea aplicada en superficie, es particularmente objeto de grandes pérdidas por volatilización; esto se debe al efecto que causa la urea hidrolizada en el suelo, en el pH local (próximo a las partículas de fertilizante).

2.6.3 Situaciones de deficiencias de nitrógeno

Los problemas nutricionales en regiones forestales manejadas intensivamente, se deben al uso de suelos infértiles para las plantaciones y a los mayores requerimientos de nutrientes por parte de los bosques de rápido crecimiento, (Pritchett, 1991). Una deficiencia de un nutriente determinado puede considerarse problema si la adición de ese elemento en el sistema suelo-planta, en forma y cantidad adecuada, da por resultado un mayor crecimiento.

Por lo común, el nitrógeno se aplica en plantaciones de tierras agrícolas abandonadas o en regiones donde el nitrógeno y la materia orgánica estén en cantidades muy bajas. Las deficiencias de nitrógeno pueden no ser decisivas para la fertilización hasta después del cierre de las copas, cuando gran parte del nitrógeno queda inmovilizado en la materia orgánica del ecosistema, (Pritchett, 1991).

Las bajas tasas de disponibilidad de nutrientes en los suelos poco fértiles han sido el mayor factor limitante del crecimiento en las plantaciones de *Eucalyptus sp.* en Australia (Cromer et al, 1993).

Noble et al (1990) y Cromer et al (1993), indican que las respuestas a las aplicaciones de nitrógeno solo han sido constatadas en suelos con un contenido de fósforo relativamente alto o en donde el contenido de ambos, nitrógeno y fósforo, es muy bajo. Sin embargo según Herbert et al (1989), como los suelos forestales (de Sudáfrica) generalmente tienen un bajo contenido de fósforo, la mayor respuesta de fertilización en plantación es al fósforo. La respuesta al nitrógeno es fundamentalmente aditiva, dependiendo del contenido de materia orgánica y de la mineralización de nitrógeno que ocurra, en función del grado de preparación del sitio.

Según Schönau, 1983 (citado por Herbert et al, 1989), fue demostrado que la demanda de nutrientes es mayor por nitrógeno que por fósforo en suelos con bajo contenido de materia orgánica. Los resultados de sus experimentos realizados con *Eucalyptus grandis* indican que en el momento de plantación existe un requerimiento de nitrógeno muy alto, pero esto se debió a un nivel de fósforo inusualmente elevado en el suelo.

Cromer et al (1993), indican que las respuestas al nitrógeno han ocurrido en suelos relativamente recientes, que tienen bajos contenidos de materia orgánica y de nitrógeno.

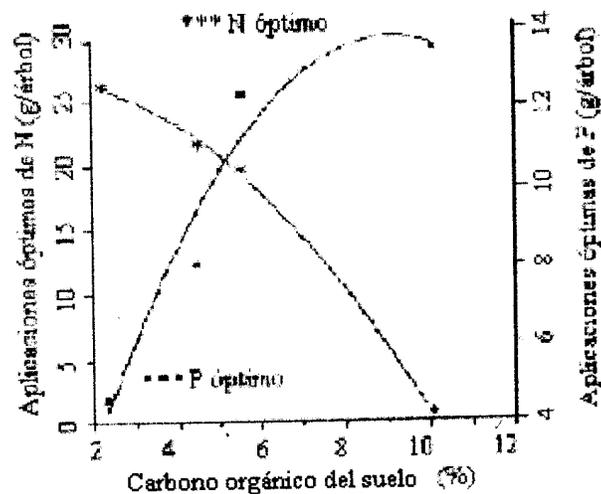


Figura 6: Relación entre el carbono orgánico del suelo y el requerimiento óptimo de fertilizante nitrogenado y fosforado (Noble et al, 1990).

A medida que el contenido de carbono orgánico aumenta, hay un correspondiente descenso del requerimiento de nitrógeno en el sitio, debido a un incremento de la capacidad de mineralización de éste; a su vez, ocurre un incremento del requerimiento de fósforo en el lugar, (debido a la adsorción a los coloides orgánicos que actúan como sitios activos).

La **figura 6** explica en forma gráfica la mayoría de las situaciones mencionadas anteriormente.

A partir de la limitada serie de experimentos realizados por Noble et al (1990), es posible hacer recomendaciones tentativas sobre el monto óptimo de nitrógeno a aplicar, respecto al contenido de carbono orgánico del suelo.

En general, 1-3% del nitrógeno total medido en el suelo será mineralizado y disponible para los árboles cada año; este porcentaje no es constante para todos los suelos y puede ser influenciado por el pH del suelo, la temperatura, la profundidad del suelo y el drenaje, entre otros, (Noble et al, 1990).

Respecto a las aplicaciones de fertilizante posteriores al cierre del follaje, en suelos de más de 450 mm de profundidad se puede esperar respuesta al nitrógeno; la disponibilidad de humedad es crítica para las respuestas, por lo cual, cuanto mejor es la calidad del suelo (respecto a la disponibilidad de humedad del mismo), mayor es la respuesta a la fertilización, (Herbert et al, 1990).

2.6.4 Requerimientos de nitrógeno

Las plantas requieren N en muy altas cantidades, solo comparables a las que requieren de K. Cuando el rendimiento de un cultivo aumenta, las cantidades de nutrientes que éste demanda también aumentan, (Perdomo et al, 1999). Según Cromer et al, 1981 (citados por Cromer et al, 1982) el nutriente con mayor efecto en la respuesta en crecimiento ha sido el fósforo, más que el nitrógeno.

Desde el punto de vista de la fertilidad del suelo, el nitrógeno es el elemento de primera importancia en la determinación del rendimiento de los vegetales, especialmente en relación con el logro de los rendimientos máximos, (Hauck, 1984).

Según Barros et al (1990), los resultados experimentales hasta entonces disponibles muestran que las especies de eucaliptos evaluadas han presentado respuestas más acentuadas al nitrógeno, en los dos primeros años después de la plantación y, que la cantidad exigida de nutriente, es relativamente baja. En cambio, Godinho et al (1996) indican que en la población más vieja (la de 37 meses respecto a la de 13) el efecto de la fertilización fue más intenso, indicando el aumento de la demanda de N y K al aumentar la edad. Fue explicado por el autor debido a la baja fertilidad natural del sitio, suelo de "cerrado", en Minas Gerais, Brasil.

2.6.5 Respuesta a la fertilización nitrogenada

Los árboles forestales usan nitrógeno muy eficientemente, a través del reciclaje de nutrientes del residuo foliar en el suelo forestal. Por esta razón, la respuesta a una aplicación simple de nitrógeno suele durar varios años, (Hauck, 1984).

La fertilización nitrogenada en eucaliptos ha tenido respuestas significativas en estados iniciales de crecimiento de las plantas, ya sea en la formación de los plantines (Brandi, 1976; Novais et al, 1980; citados por Barros et al, 1990) o en el campo, después de la plantación, (Barros, 1977; Barros et al, 1981; citados por Barros et al, 1990).

Según Pritchett (1991), el resultado más notable de las adiciones de fertilizante, es un aumento en la tasa de crecimiento del árbol; esta mayor producción de madera, implica un aumento en la eficiencia de la fotosíntesis o en el tamaño del aparato fotosintético o de ambas cosas a la vez. (De esta forma, un aumento de la eficiencia de la fotosíntesis como resultado de la corrección de la deficiencia en un elemento que interviene en la síntesis de clorofila, puede considerarse una función primaria de la fertilización.)

La altura es probablemente el parámetro aislado más fácil de medir y significativo de respuesta en los árboles jóvenes, aunque también se toman medidas de diámetro, (Pritchett, 1991). Estas mediciones se hacen por lo general durante el período de latencia. Al medir la respuesta a los fertilizantes, se podrá tener un cálculo de los efectos de los tratamientos sobre cambios en la forma, modelos de crecimiento y propiedades de la madera.

El mismo autor indica que los aumentos de crecimiento en altura de los árboles, como resultado de la fertilización, son proporcionales a los aumentos en la "calidad de campo". Esta mejoría puede ser efímera, como en el caso de la fertilización con nitrógeno. Grandes zonas de bosques de regiones templadas, manejados intensivamente, aparentemente responden a los fertilizantes nitrogenados, debido a las condiciones empobrecidas de estos suelos; este es el resultado de la rápida oxidación de la materia orgánica y la pérdida de elementos minerales por la lixiviación.

En 1983, Herbert encontró que en los parámetros altura, volumen y factor de forma (FF) de los árboles, existió **respuesta al agregado de nitrógeno en el momento de plantación**; los incrementos en las distintas variables fueron significativas con el mayor nivel de nitrógeno agregado (100 g/árbol, 26% de nitrógeno).

Otros ensayos de fertilización también mostraron respuestas significativas para varias especies de eucaliptos, a las aplicaciones de fertilizantes. La respuesta en diámetro fue aparente desde una edad temprana y se mantuvo una respuesta absoluta hasta la cosecha, aproximadamente hasta los 12 años. Consecuentemente, el área basal y por lo tanto el volumen por unidad de superficie, también se vieron incrementados, (Herbert et al, 1989).

El efecto de un menor crecimiento en diámetro en las plantas creciendo con carencias de nitrógeno, respecto a las que crecieron en los tratamientos completos (de fertilización con varios macro y micronutrientes), fue determinado por Sgarbi et al,

(1996). Este experimento se realizó con plantas de un clon híbrido *E grandis x E urophylla* y la evaluación se realizó a los 14 meses de edad de la plantación.

Evaluando el diámetro, la aplicación de 3.4 g N/pl produce un crecimiento sustancial en *Euclyptus globulus ssp. globulus*, pero la respuesta adicional a las dosis mayores de fertilizante (10.1 y 20.2 g N/pl), fue proporcionalmente menor, (Cromer et al, 1982). Estos autores evaluaron una secuencia de edad en una plantación de 2196 pl./ha y encontraron que hasta la edad de 4 años, el crecimiento en diámetro fue divergente al comparar los árboles que habían recibido fertilizante respecto a los que estaban sin fertilizar. A partir de esa edad y hasta los 9.5 años, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos y en las gráficas se comenzó a observar cierto paralelismo en el DAP de los árboles, como lo muestra la **figura 7**.

Los eucaliptos muestran un incremento muy temprano en el crecimiento del DAP, como respuesta a la fertilización. Herbert et al (1990), observaron un rápido incremento absoluto del DAP a partir del momento de la fertilización y que este efecto culminaba entre los seis y ocho años de edad.

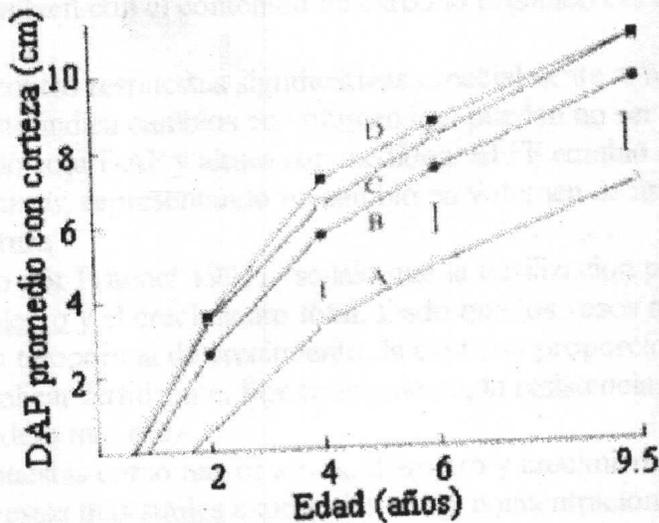


Figura 7: Diámetro promedio de *Eucalyptus globulus* con distintos tratamientos de fertilización a lo largo de una secuencia de edad. Tratamiento A, sin aplicación de fertilizante; tratamientos B, C y D, dosis crecientes de nitrógeno y fósforo, (Cromer et al, 1982).

En el caso de crecimiento en altura, Cromer et al (1982) encontraron la misma tendencia que para el crecimiento en diámetro.

En 1990, Herbert et al encontraron que las respuestas de crecimiento en altura en *Eucalyptus sp.*, aumentan hasta que los árboles tienen 18-24 meses de edad.

Cromer et al (1993), encontraron respuesta de *Eucalyptus grandis* en crecimiento en altura, a la adición de fertilizante nitrogenado y fosforado, que había sido aplicado regularmente durante los tres primeros años de crecimiento de la plantación.

Estimaciones detalladas del crecimiento de *Eucalyptus grandis*, mostraron que los tratamientos de fertilización en el momento de plantación, resultaron en un sustancial incremento del área foliar y de todos los componentes de la biomasa aérea, evaluando al tercer año. La masa foliar en los tratamientos fertilizados se desarrolló rápidamente, antes del primer año y alcanzó un “plateau” que se mantuvo hasta la edad de 2.4 años, (Cromer et al, 1993).

Noble et al (1990), para limitar la influencia de los factores de sitio en respuesta al nitrógeno, determinaron cambios relativos en el área basal (AB) con las distintas aplicaciones del nutriente. Los datos indican claramente que la respuesta relativa en términos de área basal al nitrógeno agregado está, en todos los casos, relacionado inversamente al contenido de carbono orgánico del suelo. Cromer et al (1990), encontraron un incremento sustancial en el área basal de *Eucalyptus grandis* como respuesta al agregado regular de nitrógeno y fósforo, a los tres años de edad.

La respuesta relativa es mayor en sitios marginales que en “sitios buenos” aunque la respuesta absoluta en volumen, aumenta con la calidad de sitio. La calidad de sitio en este caso, se correlaciona bien con el contenido de carbono orgánico del suelo (Noble et al, 1990).

Herbert (1983), encontró respuestas significativas especialmente al nitrógeno, en el factor de forma (FF). Esto indica cambios en volumen que pueden no ser aparentes en tablas de volumen cuando solo DAP y altura son medidos. El FF cambió de 0.370 a 0.411 en *Eucalyptus grandis*, representando un cambio en volumen de árbol de 11.1% para el mismo DAP y altura.

White, 1973 (citado por Pritchett 1991), señaló que la fertilización prolonga el período anual de crecimiento y el crecimiento total. Dado que los vasos más grandes se forman al principio de la temporada de crecimiento, la cantidad proporcional de poros grandes será menor al aplicar fertilizante. Por consiguiente, la resistencia de la madera será mayor, se logra madera más dura.

Además de las respuestas como mayor altura, diámetro y crecimiento en volumen, puede haber otras respuestas más sutiles expresadas como concentraciones químicas, peso de los elementos componentes, propiedades de la madera, entre otras. El aumento efectivo en producción de materia seca debido a la fertilización, puede ser algo menor que el aumento en volumen; sin embargo, los aumentos en volumen, por lo general superan cualquier pérdida en la producción en términos de peso específico o densidad de la madera y en longitud de fibras, (Pritchett, 1991).

Entre los efectos indirectos de la aplicación de fertilizantes, Pritchett (1991) cita como ejemplo, la formación de ácido de los fertilizantes nitrogenados; como consecuencia, esta acidez podría disminuir la disponibilidad de otros nutrientes como el fósforo y las bases. También tendrían influencia sobre los microorganismos del suelo, afectando la cantidad de hongos y bacterias en él. En campos bien drenados, una mejor nutrición de los árboles puede dar como resultado una mayor restricción del agua durante los períodos de sequía.

Según Hauck (1984), la fertilización de las plantas afectará la selección del hospedero, sobrevivencia, tasa de crecimiento y reproducción de insectos fitófagos;

puede también alterar el microclima (ej: mayor superficie foliar), relaciones con otras plantas o patógenos vegetales. Estos cambios alteran el valor de las plantas como ambiente para los insectos fitófagos y sus enemigos naturales. Los efectos de estas alteraciones fisiológicas y morfológicas (inducidos por la fertilización), también dependen del grupo alimenticio al cual un insecto pertenece. Hay que tener presente que la aplicación de fertilizante también afecta la invasión de las plantas por los insectos polinizadores.

2.6.6 Mecanismos fisiológicos responsables del crecimiento

La mayor productividad es claramente dependiente del mantenimiento de un alto índice de área foliar (IAF), para interceptar una alta proporción de radiación solar disponible. Una relación directa entre producción de biomasa aérea y radiación interceptada fue demostrada para varios *Eucalyptus sp.*, (Linder, 1985; Turnbull et al, 1988; citados por Cromer et al, 1993).

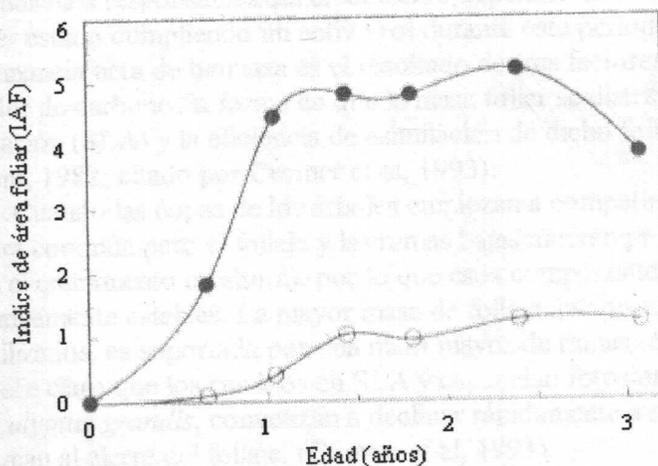


Figura 8: Desarrollo del IAF en una plantación de *Eucalyptus grandis*, durante los tres primeros años

(●) tratamiento con fertilizante y
(○) sin fertilizante.

Redibujado por Attiwill (1996)
de Cromer et al (1991).

La adición de nutrientes, estimula la expansión del dosel. De acuerdo a esto, el incremento en la asimilación de carbono es función de la radiación interceptada. A pesar de que la arquitectura del dosel, la densidad del área foliar y la distribución espacial de elementos individuales del follaje no se describen en forma explícita, estos términos están incluidos en el IAF; las estimaciones de la absorción de radiación fotosintéticamente activa (PAR= Photosynthetic active radiation) basadas en el IAF, son muy sólidas. La producción de biomasa aérea se relaciona linealmente a la radiación interceptada, a través de un amplio rango de tipos forestales (Attiwill et al, 1996).

A los 16 meses de edad, en Toolara (al SE de Queensland, Australia) el IAF para todas las parcelas de *Eucalyptus grandis* que habían sido fertilizadas, alcanzó el valor de

5.0 (para algunos árboles individuales incluso llegó a 6.3). En contraste, en las parcelas control el IAF fue alrededor de 1.0, como lo muestra la **figura 8**. La biomasa aérea fue 0.62 t/ha y 11.46 t/ha en las parcelas control y las fertilizadas, respectivamente (Cromer et al, 1991; citados por Attiwill et al, 1996).

La masa foliar se ve fuertemente influenciada por la toma de nutrientes (Cromer et al, 1982; citados por Cromer et al, 1993) y el desarrollo de plantaciones de *Eucalyptus sp.* altamente productivas, dependerá de estrategias que pongan énfasis en la disponibilidad de nutrientes.

En los estudios realizados por Cromer et al (1993), se encontró que con poco más de medio año de edad, el IAF de los árboles fertilizados llegó a ser 20 veces mayor que el de los tratamientos control. Estos tratamientos de fertilización en plantación, indican que la nutrición tiene su máximo impacto en el área foliar específica (SLA)¹, de los árboles jóvenes (menos de seis meses), cuando los valores absolutos de este parámetro son altos. La aplicación de fertilizante incrementó sustancialmente la tasa de crecimiento de la masa foliar capaz de interceptar la radiación solar. Esto sugiere que los mecanismos responsables del crecimiento dependiente de los nutrientes, tienen que haber estado cumpliendo un activo rol durante este período. Los autores encontraron que la ganancia neta de biomasa es el resultado de tres factores: la proporción de follaje fijador de carbono, la forma en que la masa foliar se distribuye para interceptar la radiación (SLA) y la eficiencia de asimilación de dicho follaje (capacidad fotosintética), (Hunt, 1982; citado por Cromer et al, 1993).

Cuando las copas de los árboles empiezan a competir entre ellas, el crecimiento en altura continúa pero el follaje y las ramas bajas mueren progresivamente (en paralelo con el crecimiento en altura), por lo que esos componentes de la biomasa se hacen relativamente estables. La mayor masa de follaje que presentan los tratamientos fertilizados, es soportada por una masa mayor de ramas respecto a aquellos sin fertilizar. Parece claro que los cambios en SLA y capacidad fotosintética debido a la nutrición en *Eucalyptus grandis*, comienzan a declinar rápidamente a medida que los árboles se acercan al cierre del follaje, (Cromer et al, 1993).

¹ SLA es área por unidad de masa foliar y se expresa en las unidades m²/Kg.

2.7 APLICACIÓN DE FERTILIZANTE

La fertilización es el método más popular y talvez el más efectivo que el silvicultor dispone para mejorar la calidad de sitio, (Barros et al, 1990).

2.7.1 Momento de aplicación del fertilizante

Pritchett (1991), indica que generalmente los fertilizantes se aplican a los bosques en el momento o época próximo al establecimiento de una comunidad, o bien, a las comunidades establecidas, después del cierre de copas; a veces se usa una combinación de ambas.

Hagner y Leaf, 1973, citados por Pritchett (1991), afirmaron que la elección de la época de aplicación con relación al desarrollo de la comunidad, depende de varios factores como existencia de deficiencia nutricional en el momento de la plantación, duración de la respuesta al nutriente añadido, condición del campo, especie, densidad de plantación y período de rotación, entre otros.

Fertilización en el momento de plantación: en Brasil, la aplicación de fertilizantes en eucaliptos ha sido realizada invariablemente en plantación; esto es, algunos días antes o después de esta operación. De este modo, la fertilización actúa como efecto “starter” en el crecimiento de las plantas. En suelos de mejor calidad, esa aplicación de fertilizante permitirá lograr una elevada tasa de crecimiento a lo largo de todo el ciclo, (Leal, 1988; citado por Barros et al, 1990).

El nitrógeno es inherentemente deficiente en algunos suelos arenosos y en tierras agrícolas abandonadas, con bajo contenido de materia orgánica. En estos suelos puede ser necesario aplicar nitrógeno a las plántulas, a fin de asegurar su rápido establecimiento y crecimiento. La aplicación de fertilizante resultó en una rápida expansión del área foliar durante los primeros doce meses de edad y en el mantenimiento de esta ventaja. Como consecuencia, se lograron mayores niveles de producción, (Cromer et al, 1993).

La fertilización en plantación ha sido realizada por los beneficios adicionales como son acortamiento de la rotación, aumento de la producción por hectárea, cierre más temprano del follaje, entre otras, (Schutz, 1976, citado por Herbert et al, 1989).

Fertilización en plantaciones establecidas: es una práctica que se realiza cuando los suelos son de muy baja fertilidad. En estos casos, después del segundo o tercer año la tasa de crecimiento de los eucaliptos se reduce considerablemente, llegando a ser casi nula en algunos casos. En esas situaciones, las plantas están sometidas a una condición de deficiencia mineral (particularmente de fósforo), debido a que ya se han absorbido los nutrientes disponibles y accesibles al sistema radicular o porque el sistema radicular está explorando otras regiones y no aquellas en donde fue aplicado el fertilizante, (Barros et al, 1981; 1984; citados por Barros et al 1990). Por lo tanto, si la limitante de nutrientes existe, la refertilización debería llevar a un nuevo período de elevada tasa de crecimiento, aunque este hecho no siempre es observado, (Leal, 1988; citado por Barros et al, 1990).

La investigación sobre la aplicación de fertilizante después del cierre del follaje se ha concentrado fundamentalmente en pinos; esto se debe a que la duración de la rotación de las plantaciones de pinos es mayor que la de eucaliptos. A pesar de que las respuestas más importantes han sido constatadas para fósforo y manganeso, en ocasiones el nitrógeno aplicado a las plantaciones también ha incrementado el crecimiento. Herbert et al (1990) indican que para suelos de más de 450mm de profundidad es recomendable la aplicación de 60 Kg P/ha; para esos suelos y con la aplicación de fósforo también se espera respuesta al agregado de nitrógeno.

Según Moris, 1986 (citado por Herbert et al, 1990) la respuesta de *Pinus patula* al nitrógeno es evidente entre los 7 y 12 años de edad; en pinos de edad intermedia es posible encontrar respuesta a la fertilización sin la necesidad de raleo (siempre y cuando se hayan utilizado suelos adecuados y las plantaciones hayan recibido un nivel adecuado de precipitaciones). En donde el agua del suelo es limitante, puede ser necesario un raleo para mejorar la disponibilidad de agua de los árboles individuales.

2.7.2 Fuentes de nutrientes utilizadas

Según el origen de los fertilizantes nitrogenados, se los clasifica en orgánicos e inorgánicos. Los **fertilizantes orgánicos** eran la fuente de nitrógeno utilizada previo al desarrollo de fertilizantes sintéticos. Los **fertilizantes inorgánicos**, surgen de fuentes nitrogenadas amoniacales o nítricas. Estas fuentes permiten obtener fertilizantes con porcentajes de nitrógeno muy superiores a los que aportan los fertilizantes orgánicos. En nuestro país fundamentalmente se usan fertilizantes amoniacales, caso de la urea (ampliamente usado) y fosfato de amonio, (en proporción mucho menor), (Perdomo et al, 1999).

Una forma de nitrógeno orgánico que puede ser absorbido directamente por las plantas es la urea; actualmente, esta es la principal fuente de fertilizante nitrogenado, sólido, en uso, (Harris y Harre, 1979, citados por Hauck, 1984).

Históricamente, la urea ha sido una de las fuentes de nitrógeno preferible para la fertilización de los bosques, según Nommik 1973 (citado por Pritchett, 1991). La urea y el nitrato de amonio, han sido las fuentes de nitrógeno más usadas en silvicultura, sobre todo a causa de sus altos contenidos en nitrógeno. También tienen buenas propiedades físicas y son menos costosos en cuanto a su manejo y aplicación.

La aplicación de urea al suelo generalmente resulta en una rápida hidrólisis a amonio (por ureasas del suelo) y como consecuencia, en la conversión de amonio a nitrato. La evidencia sugiere que la urea es absorbida como una molécula intacta por la mayoría de las plantas. Seguidamente, la urea puede ser hidrolizada a amoníaco y dióxido de carbono dentro de las plantas, ya sea en las raíces o en la parte aérea (Hauck, 1984).

Fue demostrada en trabajos conducidos por Vale et al, 1984 (citado por Novais et al, 1999) la absorción preferencial de nitrógeno en forma amoniacal, consecuencia de la alta tolerancia de los eucaliptos a la acidez del suelo, a un alto contenido de aluminio (Al^{+3}) y al consecuente distrofismo de suelos. Sin embargo, Pritchett (1991) indica que durante los primeros años de vida de las plantas, los sistemas de arraigamiento no están

suficientemente desarrollados como para consumir de manera efectiva los fertilizantes solubles.

2.7.3 Ubicación del fertilizante

Por lo general el fertilizante es aplicado en la línea de plantación, junto a los árboles, o bien, al boleó cubriendo toda el área. Godinho et al (1996), encontraron que las plantas de *Eucalyptus camaldulensis* de 13 y 37 meses de edad que recibieron fertilización localizada, tuvieron mejor crecimiento que el testigo y que las plantas que recibieron fertilización total, (**figura 9**).

2.7.4 Eficiencia de utilización del fertilizante

Existen grandes diferencias en la necesidad total de nutrientes, fundamentalmente entre especies. La razón principal está en la diferente eficiencia de producción de biomasa entre las especies. Las especies de crecimiento lento son más capaces de suplir sus necesidades nutricionales en los suelos de baja disponibilidad de nutrientes, (Goncalves et al, 1999). Reis et al, (1987) indican que muchas especies del género *Eucalyptus* crecen relativamente bien en suelos de fertilidad pobre. Esta característica se relaciona, además de otros factores, al bajo requerimiento nutricional y a la eficiencia de utilización de nutrientes de estas plantas.

Hauck (1984) indica que en el caso del fertilizante nitrogenado, la eficiencia se define como la relación entre los kilogramos de nitrógeno provenientes del fertilizante que fueron absorbidos por la planta y el total de kilogramos de nitrógeno que fueron agregados como fertilizante. Este índice generalmente se determina en el momento de madurez fisiológica y su valor oscila entre 50 y 70 %. El nitrógeno no absorbido, permanece como forma orgánica en el suelo y como mineral (muy escaso), o se pierde del sistema suelo-planta.

Godinho et al (1996) registraron una mayor eficiencia de utilización del fertilizante cuando éste fue aplicado en línea, respecto a la aplicación total (en toda la superficie plantada).

2.7.5 Recuperación de nutrientes

Se ha generado un debate entre varios investigadores en cuanto a si la eficiencia de utilización está más fuertemente desarrollada en las especies adaptadas a crecer en ambientes con bajo contenido de nutrientes. Attiwill et al, 1996 cita a Loneragan et al, 1976; Attiwill, 1980; Bowen, 1981, quienes coinciden que los ciclos bioquímicos (descritos por Switzer y Nelson, 1972) que implican la retranslocación de nutrientes desde tejido viejo a tejido joven en activo crecimiento, tiene particular significancia en la eficiencia de utilización.

Según Cromer et al (1982), es interesante conocer cuánto del fertilizante aplicado fue recuperado por los árboles. La recuperación de nutrientes disminuyó a medida que se incrementó la cantidad de nutriente agregado. Con el tratamiento **D** propuesto por los autores (con un total de nitrógeno similar al que resulta de agregar 200g urea/pl), a los cuatro años de edad el porcentaje de nitrógeno recuperado por los árboles fue de

aproximadamente 35% (en una plantación de *Eucalyptus globulus ssp. globulus* plantado a una densidad de 2196 pl/ha).

Según Godinho et al (1996), la eficiencia de recuperación de nitrógeno y de potasio aplicados en *Eucalyptus camaldulensis*, fue influenciada por la forma de aplicación del fertilizante y por la edad de la población: se observaron mayores índices de recuperación con la fertilización en línea y en la población de 37 meses de edad (cuando se compara con aplicación total y con la edad de 13 meses). Las mayores recuperaciones fueron de 95% y 65% para N y K respectivamente. Estos valores de recuperación permitieron que se acumularan en la biomasa aérea valores cercanos a los 290 Kg.ha⁻¹ de N y 173 Kg.ha⁻¹ de K, en la población de 37 meses de edad. Estas cantidades serían suficientes para cubrir más del 90% de las necesidades de dichos nutrientes, para la manutención de una población de productividad media, de la región de Minas Gerais, Brasil (Reis et al 1987, citados por Godinho et al, 1996).

En el mismo ensayo, la menor eficiencia de recuperación de nutrientes en la población de 13 meses, se explicaría por una menor exploración del suelo por parte del sistema radicular de los árboles jóvenes, menor demanda y mayor mineralización. Todo esto aumenta la probabilidad de pérdida de los nutrientes del suelo, por el mecanismo de lixiviación.

En algunas condiciones, la recuperación del nitrógeno aplicado como urea puede ser muy baja; uno de los motivos es el de la inmovilización del nitrógeno cuando la cubierta forestal es de pH muy ácido. La inmovilización y la mineralización de este elemento están correlacionadas positivamente con la temperatura y con las tasas de aplicación, (Pritchett, 1991).

Una vez que se ha hidrolizado la urea, aumenta en el suelo la población bacteriana. Esto posibilita una mayor nitrificación y mayores pérdidas por lixiviación. Las pérdidas por volatilización del amonio debido a la aplicación en superficie de urea granulada, varían de 5 a 10 % o menos, hasta 20 o 40%, según varios autores citados por Pritchett (1991). Habría que sincronizar las aplicaciones de urea para que coincidan con un periodo de precipitación pluvial; esto reduciría las pérdidas en forma de gas. Por otro lado, existe la posibilidad de lixiviación de la urea no hidrolizada. Los resultados indican que si tiene que aplicarse nitrógeno en los meses cálidos y secos de verano, fuentes como el nitrato de amonio resultarán mejores que la urea.

2.8 BIOMASA AÉREA

2.8.1 Componentes de la biomasa aérea

El contenido total de nutrientes en las plantas corresponde a la suma de los nutrientes de los distintos compartimentos de los árboles: hojas, ramas, corteza y tallo (o tronco). Cada uno de ellos, posee concentraciones específicas de nutrientes minerales, de acuerdo con sus funciones, habiendo un gradiente que generalmente presenta la siguiente secuencia de concentración: hojas>corteza>ramas>tallo (Bellote et al, 1999).

2.8.2 Producción de biomasa

El aumento de biomasa de los vegetales depende, en última instancia, del potencial genético de cada material para fijar carbono y absorber agua y nutrientes; también depende de factores externos como plagas y competencia con otras plantas, (Ladeira et al, 2001). Se pueden lograr altas productividades con el uso de material genético superior y con la optimización del uso de los factores ambientales (especialmente agua y nutrientes), por medio de prácticas de manejo adecuadas, (Barros et al, 1986; Patiño-Valera, 1986; Silva, 1990; citados por Ladeira et al, 2001). Entre estas prácticas se destaca la elección adecuada del espaciamiento de la población; esta tarea se facilita cuando se tiene información sobre la distribución de la materia seca entre los diferentes componentes de la biomasa, en función de la edad.

El conocimiento de la biomasa del sistema radicular es relevante para entender los procesos relacionados con la competencia por los recursos ambientales y como consecuencia, útiles para la adopción del manejo adecuado; por esa razón, en investigaciones recientes se incluye el estudio de la biomasa radicular, (Ladeira et al, 2001).

2.8.2.1 Efecto de la densidad de plantación

El efecto que causan las diferentes densidades de plantación sobre la fijación de nutrientes en distintas partes de las plantas fue estudiado por Rezende et al (1983) y por Poggiani et al (1984), en plantaciones de *Eucalyptus sp.* citados por Reis et al (1987). No encontraron marcadas variaciones como una función de la densidad, probablemente porque las plantaciones estudiadas por ellos eran muy jóvenes (2.5-3.5 años), cuando la competencia entre plantas aún no es muy intensa; esto hace que los datos sean menos útiles para tomar decisiones de métodos de manejo.

Vital y Della Lucía en 1987 (citados por Assis et al, 1999) estudiaron el efecto del espaciamiento en la producción de biomasa de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus urophylla* en la región de “cerrado” (Brasil). Encontraron que hasta la edad de 57 meses (4.75 años) el principal factor que influenció la producción por unidad de superficie fue el número de árboles por hectárea, donde las mayores producciones volumétricas correspondieron a los espaciamientos más reducidos. Ladeira et al (2001), encontraron la misma tendencia de producción de biomasa en los distintos espaciamientos, para las tres especies evaluadas, (*Eucalyptus camaldulensis*, *E. urophylla* y *E. pellita*).

En 1977, Couto et al encontraron que el volumen medio por hectárea de *Eucalyptus urophylla* fue menor con los espaciamientos más amplios, para todas las edades. A su vez, varios autores indican que en espaciamientos muy reducidos, la altura media disminuye en función del gran número de árboles dominados (Balloni y Simoes, 1980; Leles et al, 1998), lo que acarrea a la producción de tallos de pequeño diámetro, comprometiendo así el volumen final producido, (Vale et al, 1982; Leite et al, 1997) (citados por Assis et al, 1999).

Según Oliveira Nêto et al (1996), con la disminución de los espaciamientos en *Eucalyptus camaldulensis*, se observó mayor acumulación de biomasa hacia la madera cuando las plantas tenían 20 y 32 meses de edad. Estos autores citan a Bernardo (1995), quien había observado igual relación para el mismo género; a su vez este autor indica que la disminución de acumulación relativa en el tronco, en los espaciamientos mayores, se debe a un aumento de biomasa de hojas y de raíces laterales, (este autor y Oliveira Neto et al, 1996, determinaron la distribución de biomasa aérea y radicular de los árboles; la biomasa radicular fue dividida en tres componentes: raíz pivotante, raíces laterales mayores a 2mm y menores a 2mm de diámetro). Este incremento en la biomasa de raíces se debe al mayor desarrollo de las mismas para explorar más volumen de suelo; esto no ocurrió en los árboles que crecieron en espaciamientos más reducidos. Ladeira et al (2001) citan a Radosevich et al (1987), quienes encontraron igual tendencia de mayor producción de biomasa del tronco por unidad de superficie, con la reducción del espaciamiento.

El aumento de la densidad de plantación normalmente lleva al corte de la población en edades más jóvenes, debido a que la capacidad productiva del sitio se agota más rápido, (Barros et al, 1990).

En los espaciamientos menores, debido a una mayor competencia entre plantas existe estabilización de la acumulación de biomasa en edades más jóvenes, respecto a la edad de la estabilización observada en espaciamientos más amplios (Radosevich y Osteryoung, 1987; citados por Ladeira et al, 2001). Estos autores verificaron que la influencia del espaciamiento sobre la biomasa del tronco (en las tres especies estudiadas por ellos) fue mayor que la influencia en la producción de biomasa total.

En un análisis de crecimiento en diámetro de los árboles, para las tres especies, Ladeira et al (2001) constataron aumento sustancial en la producción de plantas con diámetros mayores, al aumentar el espaciamiento.

2.8.2.2 Efecto de la edad

La distribución de materia seca aérea entre las hojas y los tallos, inicialmente es relativamente constante para *Eucalyptus globulus* y otras especies de éste género (no especificadas por el autor), (Sheriff y Nambiar, 1991; Mulligan y Sands, 1988; citados por Attiwill et al, 1996). Sin embargo, los tallos y las ramas luego continúan creciendo a una tasa más rápida que otras partes de la planta, por lo tanto, irá aumentando su proporción de materia seca (Cromer y Jarvis, 1990; Kirshbaum et al, 1992; Cromer et al, 1993; citados por Attiwill et al, 1996). Este incremento en la biomasa de tallo y ramas ocurre a partir del cierre del follaje, cuando la biomasa foliar se hace relativamente estable. Como consecuencia, la proporción de materia seca de hojas y el contenido de nutrientes en ellas, comienzan a disminuir con el aumento de la edad de los árboles, a partir de ese momento (Attiwill et al, 1996).

En evaluaciones realizadas con *Eucalyptus camaldulensis*, Oliveira Neto et al (1996), comprobaron lo que se mencionó anteriormente. Con el aumento en la edad de las plantas hay proporcionalmente una mayor acumulación de biomasa en la madera, en razón de la disminución de la partición de asimilados para otros componentes, (como hojas y raíces de más de 2mm. de diámetro). A la edad de 20 meses, la biomasa foliar representaba entre 18 y 14% de la materia seca total, para las dosis crecientes de nutrientes respectivamente. En cambio, a los 32 meses de edad, las hojas significaban solamente del 8 al 6% de la materia seca. El efecto de la edad se vio más acentuado en los espaciamientos menores (3x2m y 3x3m). El motivo sería que con 20 meses de edad, en los espaciamientos mayores las raíces aún no habrían ocupado el área útil disponible.

Resultados similares obtuvieron Godinho et al (1996), cuando compararon la distribución entre los distintos componentes de la biomasa aérea de *Eucalyptus camaldulensis*. En la población de 13 meses de edad, el 45% de la biomasa aérea se distribuía entre hojas y ramas. En cambio, cuando los árboles tenían 37 meses, esta proporción pasó a ser de 16%, siguiendo la misma tendencia en todos los tratamientos de fertilización. En la **figura 9** se puede ver la distribución de los componentes de la biomasa aérea que obtuvieron estos investigadores, en las dos edades evaluadas y para los diferentes tratamientos de fertilización aplicados. La mayor proporción de biomasa en la copa de los árboles más jóvenes, refuerza la importancia de la existencia de mayor disponibilidad de nutrientes en esa fase, porque es cuando se forma el aparato fotosintético. Se comprobó, a su vez, que la acumulación de biomasa en el tronco aumenta con la edad de la población.

Según Ladeira et al (2001), la diferencia en la producción de biomasa entre los espaciamientos extremos (3x1.5 y 3x4m) y a la edad de 41 meses, es mayor que la diferencia observada entre ambas densidades de plantación a los 84 meses de edad. A su vez, esa diferencia inicial fue mayor para el espaciamiento más reducido. Debido a que en los espaciamientos menores existe gran competencia entre los árboles desde temprana edad, se observa una estabilización de la acumulación de biomasa en edades más jóvenes que la observada en espaciamientos más amplios, (Radosevich et al, 1987; citados por Ladeira et al, 2001).

Según los mismos autores, la tendencia es que exista menor producción de materia seca total a medida que aumenta la edad de los árboles (incrementos decrecientes), hasta que se logra una producción de biomasa máxima por unidad de superficie, en función del sitio; esta producción de biomasa máxima es similar para todos los espaciamientos.

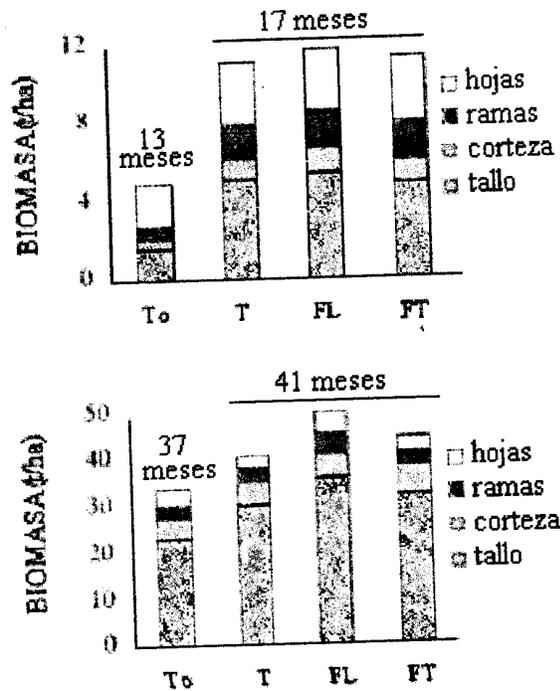


Figura 9: Biomasa (t/ha) de hojas, corteza, ramas y tallo de *Eucalyptus camaldulensis* a los 13 y 37 meses de edad (T0) y las mismas poblaciones a los 17 y 41 meses de edad. Influencia del modo de aplicación de fertilizante NK (T= testigo; FL= fertilización en línea; FT= fertilización total del área) en Joao Pinheiro, Minas Gerais, Brasil (Godinho et al, 1996).

2.8.2.3 Efecto de la fertilidad del suelo y las dosis de fertilización

A pesar de que la fertilidad del suelo es un término relativo, hay patrones consistentes de respuestas nutricionales en plantas provenientes de suelos de diferente fertilidad, según Bremner et al (1971).

Reis et al (1987), estudiaron la acumulación de nutrientes en una secuencia de edad de *Eucalyptus grandis*, plantados en dos áreas con diferente nivel de productividad. Citan a Cromer et al (1976), quienes observaron que las proporciones de nitrógeno y de fósforo distribuidas en los componentes de la copa de *Eucalyptus globulus*, fueron similares entre parcelas con y sin fertilizante. Estos resultados se obtuvieron en Australia, estudiando plantas en una secuencia de edad de 2, 4, 6 y 9.5 años.

Según Reis et al, 1985 (citados por Reis et al 1987), la acumulación de nutrientes reflejó el patrón de acumulación de biomasa, hasta aproximadamente los 36 meses de edad, en la plantación ubicada en la localidad más fértil. Luego, entre los 38 y 51 meses, se observó una marcada reducción en el contenido de nutrientes por unidad de biomasa. Esto ocurrió para P, K y Mg en la madera; Ca y Mg en la corteza; N, P, K y Ca en las raíces; K, Ca, Mg y en menor proporción N en las copas. En el sitio más pobre, la reducción de cantidad de nutriente/unidad de biomasa se observó antes, entre los 32 y 42 meses de edad. Se destaca en esta población (la del sitio más pobre) como diferencia notable, que no hubo disminución sino acumulación de N en la madera y en las raíces. La producción de biomasa en la localidad de Bom Despacho (el sitio más fértil), se estabilizó a los 51 meses de edad pero continuó aumentando en el sitio más pobre, aún a los 67 meses, a pesar de haberse constatado la reducción de concentración de algunos nutrientes, mencionada anteriormente.

En el mejor sitio, el nitrógeno en la madera seguía acumulándose a los 73 meses de edad (6.08 años). La continua acumulación de nutrientes cuando la producción de biomasa ya se ha estabilizado, indica que tales poblaciones deberían ser explotadas al inicio del período de estabilización. El monto de biomasa en la madera por unidad de nitrógeno, fósforo y potasio (coeficiente de utilización biológico = CUB), es mucho mayor en plantas creciendo en sitios pobres; es decir, que mientras en el mejor sitio el contenido de nutrientes en la madera es de aproximadamente 5 veces más que en el sitio más pobre, la diferencia en biomasa es solamente de 2.5 veces. Se encontró que la menor acumulación de nutrientes en la madera en la localidad más pobre, se debe a una mayor producción de biomasa en las raíces lo que requirió un aporte mayor de nutrientes en esa zona, (Reis et al, 1987).

Según Cromer et al (1993), entre los 12 y 18 meses de edad se puede ver un patrón de relativa estabilidad en la masa de hojas y ramas vivas, junto con un incremento de la masa de madera y corteza; esto se aprecia tanto en parcelas fertilizadas (con N y P) como en las parcelas control de *Eucalyptus grandis*. A los 2 años de edad la biomasa foliar en los tratamientos fertilizados fue significativamente mayor que en los tratamientos control, (casi 5 t/há y menos de 2 t/há, respectivamente). A los 3 años, los árboles de los tratamientos fertilizados incrementaron cinco veces su biomasa aérea total, en comparación a la que tenían al año y medio de edad (desde 11 a 55 t/há); en lo que respecta a los tratamientos control (sin fertilizante), el incremento fue aproximadamente 13% mayor. El largo de copa de los árboles fertilizados fue casi el doble, respecto a los árboles sin fertilizar. La biomasa aérea de los tratamientos control, a los tres años de edad fue muy similar a la que habían alcanzado los árboles fertilizados cuando tenían menos de un año.

Miller, 1989 (citado por Cromer et al, 1993) indica que la aplicación de fertilizante incrementa sustancialmente la tasa de crecimiento de la masa foliar y del área foliar capaz de interceptar la radiación solar. Una productividad de 30 t/há/año en los tratamientos fertilizados, fue uno de los mayores niveles de productividad reportado hasta la fecha.

Cromer et al (1982), en sus estudios sobre el efecto de la fertilización en la acumulación de biomasa de *Eucalyptus globulus*, aplicaron N y P en tres momentos (en plantación, a los 8 y a los 15 meses de edad). Evaluaron una secuencia de edad de las plantas y encontraron que esta especie, en las condiciones del ensayo, alcanza los máximos valores de crecimiento con el agregado de 90 Kg de P y 200 Kg de N por hectárea. Con esas dosis, el crecimiento fue 2.36 veces mayor que el del testigo.

En estudios realizados con *Eucalyptus camaldulensis* por Oliveira Neto et al (1996), se observó mayor acumulación de biomasa como madera, con el incremento de las dosis de fertilización; para las distintas dosis utilizadas, la acumulación de biomasa aérea como porcentaje de la materia seca total, varió entre 42 y 44%. En el tratamiento sin fertilizante la biomasa acumulada como madera fue de 34% pero fue significativamente mayor la acumulación en el sistema radicular (45% de la biomasa total), al compararla con los demás tratamientos. En este caso se utilizó una combinación de fertilizantes, los cuales eran aplicados 60 días después de la plantación.

Cromer et al (1982), encontraron que en los tratamientos con mayor dosis, la biomasa aérea total de los árboles fue 8 veces superior a la de los árboles sin fertilizante, a la edad de dos años. Diferencias similares se observaron en los distintos componentes de la biomasa (tallos, corteza y ramas vivas). Se menciona que las diferencias encontradas a los dos años, fueron disminuyendo gradualmente y el factor fue menor de tres (veces) a la edad de 9.5 años. En el lapso de 7.5 años entre los dos muestreos, hubo un incremento de madera de 30% en el tratamiento de mayor dosis de fertilizante. Este incremento ocurrió fundamentalmente a expensas de la biomasa foliar que disminuyó más de 20% en el mismo período. Entre los 2 y 4 años fue cuando estos cambios tuvieron las mayores tasas.

Es más conveniente pensar en tales diferencias de crecimiento (8 veces más biomasa aérea) en términos de “ventaja en tiempo”. La ventaja en tiempo fue de 3, 3.5 y 5 años al comparar la biomasa de madera de los distintos tratamientos respecto al testigo (sin fertilizante). Tomando como ejemplo el tratamiento de máximo agregado de fertilizante, expresados con palabras los valores anteriores indican que se demora cinco años menos (o sea 4.5 años) en producir la biomasa de madera que se logró con el tratamiento testigo en 9.5 años, (Cromer et al, 1982).

Godinho et al (1996) no encontraron influencia significativa de los diferentes tratamientos de fertilización en la producción de materia seca de *Eucalyptus camaldulensis*. Los autores estudiaron la producción de biomasa en dos poblaciones, de 13 y 37 meses de edad. En cada población, la distribución de biomasa entre los componentes de las plantas no se vio alterada por la fertilización (**figura 9**), sugiriendo una tasa de crecimiento semejante para las distintas formas de agregado de nutrientes, aunque atribuyen este resultado a la corta duración del estudio, (136 días entre la aplicación del fertilizante y las evaluaciones).

No ha sido documentado en estudios de campo el efecto que tienen los tratamientos con distintos nutrientes en el tamaño de las “fosas”. Según Attiwill et al (1996), luego de una fertilización aplicada en plantaciones “adultas” de *Eucalyptus*, son muy pequeños los cambios en la proporción de materia seca y nutrientes del follaje y en

la concentración foliar de nutrientes. Esto indica que la madera y la corteza de tallos y ramas son las fosas más importantes para los montos crecientes de nitrógeno y fósforo, absorbidos luego de una fertilización.

2.8.3 Predicciones de la producción de biomasa

Estudiando *Eucalyptus globulus*, las ecuaciones de predicción, en el caso de la biomasa total, tienen un comportamiento diferente con las distintas edades. Para el caso de un año y medio de edad, los valores predichos para las plantaciones están bastante cercanos a los observados. Respecto a los componentes individuales de la biomasa, las ecuaciones parecen dar buenas predicciones, siendo el error primeramente una consecuencia de la estimación total de la biomasa aérea. El comportamiento diferente acorde a la edad de los árboles, indica que la relación entre biomasa aérea total, diámetro de los árboles y altura, cambian con el tiempo. Esto también sugiere que las proporciones de los componentes individuales de la biomasa, dependen de cada árbol más que de la edad de los mismos, (Delgado et al, 1996).

Según Ladeira et al (2001), fue evidente la relación entre el DAP y la cantidad de materia seca alojada en los distintos componentes de la biomasa, en árboles de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* y *E. urophylla*. La variable altura total, aislada o asociada al DAP, también tuvo gran importancia en el ajuste de los modelos, especialmente para aquellos relativos al tronco de las tres especies y para estimar la biomasa de hojas en el caso de *E. pellita*.

2.9 ANÁLISIS DE TEJIDOS VEGETALES

Los procedimientos para estimar el nitrógeno mineral se pueden clasificar en tests vegetales, análisis microbianos, procedimientos de análisis total o de extracción química y estimaciones indirectas (Hauck, 1984).

Respecto a los tests vegetales, el $N-NO_3$ y las concentraciones de nitrógeno de una planta o de las partes de una planta, frecuentemente han sido usadas como indicadores del estrés de nitrógeno. Estas mediciones no cuantitativas aportan datos útiles complementarios que deberían ser utilizados en un sistema de recomendación de nitrógeno a largo plazo. Para poder llegar a utilizar la información con este objetivo, se requiere una extensa calibración para superar los posibles efectos de muestreo, ambiente (estrés hídrico), grado de madurez de un cultivo y de las distintas variedades. Determinando la absorción de nitrógeno de un cultivo creciendo a campo y sin agregado de fertilizante nitrogenado, es el método más satisfactorio de obtener datos del aporte de nitrógeno del suelo, en un sistema dado suelo-cultivo-clima. La mineralización del nitrógeno y el nitrógeno mineral residual son las mayores fuentes de nitrógeno en las parcelas sin fertilización. La mayor desventaja de los tests vegetales es su gran requerimiento de tiempo y labor. A su vez, por incluir condiciones de campo, los resultados que aportan son específicos de un sitio y no son fácilmente transferibles a otras condiciones ambientales, (Hauck, 1984).

El uso de análisis químicos de muestras de tejidos vegetales ha sido empleado por muchos años como forma de i) hacer exámenes de los nutrientes vegetales, ii) detectar la respuesta vegetal a varios tratamientos culturales, iii) detectar los nutrientes-elementos asociados con aparentes desórdenes nutricionales y iv) más recientemente, proveer guías para recomendaciones de nutrición vegetal para cultivos perennes y anuales bajo cultivo continuo, (Steckel et al, 1971).

El análisis químico de partes de plantas o productos designados sirve en la detección de deficiencias incipientes, no evidentes por la apariencia visual. El análisis múltiple de nutrientes, puede incluso confirmar el diagnóstico visual. Los valores de análisis pueden ser interpretados si los niveles de deficiencia y los adecuados, ya se conocen para una especie en particular y en el mismo estado de crecimiento del material que se está evaluando. Los muestreos de la planta entera son necesarios cuando hay que evaluar la absorción total de nitrógeno (en un estudio de eficiencia de utilización de fertilizante, por ejemplo), o también para evaluar el balance de nitrógeno, (Hauck, 1984).

El mismo autor indica que la estimación más común con propósitos de diagnóstico ha sido medir el nitrógeno total en los tejidos directamente, mediante el procedimiento de Kjeldahl. También se puede medir el contenido de nitratos en las células xilemáticas de tejido fresco, o bien, del extracto soluble en agua de tejido seco. Cada método tiene sus ventajas y desventajas. El análisis total refleja mejor la suma de efectos con respecto al status de nitrógeno por un período previo al muestreo, pero falla en indicar claramente el contenido en el exacto momento del muestreo. En cambio, el contenido de nitrato en un tejido es mayor indicador del contenido de nitrógeno en la planta al momento de recolección de la muestra, refleja mejor el actual o más reciente aporte de nitrógeno.

Otra forma de estimar el nitrógeno total es indirectamente a través de una determinación Walkley-Black de materia orgánica, (Hauck, 1984). Los coeficientes de variación para nitrógeno total son, en general, considerablemente menores que los de N-NO₃ y los obtenidos mediante procedimientos microbianos.

El uso de análisis histológico para predecir las deficiencias de un nutriente es válido y, cuando se utiliza en combinación con los análisis de suelo, es un instrumento invaluable de diagnóstico, (Pritchett, 1991).

2.9.1 Análisis foliar

Las concentraciones de nutrientes en tejidos individuales, son más adecuadas para reflejar la influencia de la fertilidad del suelo. Todas las hojas tienen la misma función básica y todas utilizan el mismo monto de nutrientes en el proceso de fijar energía en formas orgánicas. Además, la capacidad fotosintética de las hojas, está fuertemente correlacionada con la concentración de nutrientes, especialmente del nitrógeno. Los nutrientes en las hojas pueden ser expresados en la base de área foliar (AF) o de peso de hojas. Las concentraciones de nutrientes en hojas (por peso) son sensibles a variaciones entre las hojas, debido a diferencias en los tipos de tejidos que las forman, (Vitousek et al, 1986).

Se debe entender que el análisis foliar, cuando es acompañado de análisis de suelo, de síntomas visuales de deficiencias nutricionales y del crecimiento de las plantas, es una herramienta que podrá ser muy útil en la difícil tarea de evaluar y diagnosticar deficiencias de nutrientes en las plantaciones de eucaliptos, (Barros et al, 1990). Diversos aspectos relativos al muestreo foliar para análisis químico hacen que los resultados obtenidos deban ser evaluados con restricciones. La edad de las hojas, que en una misma rama corresponde a diferentes posiciones, es un aspecto importante.

Según Pritchett (1991), para fines de diagnóstico se han utilizado de manera general, las hojas más altas con exposición directa al sol en las especies de latifoliadas, colectadas al final de la época de crecimiento activo y antes de la coloración otoñal.

Mead y Pritchett, 1974, citado por Pritchett (1991), sugirieron que para fines de diagnóstico de los elementos más móviles (N, P, Mg y Zn), las muestras deberían colectarse durante el primer período (durante el crecimiento activo). Lo mismo sostiene Schonau, 1981, citado por Herbert y Schonau, 1990.

Cromer et al (1982), indican que el uso directo de análisis foliar con propósito de diagnóstico no parece promisorio para *Eucalyptus sp.* Estos autores citan a Cromer et al (1981), mencionando que una herramienta de diagnóstico alternativa fue el uso de la relación nitrógeno: fósforo (N/P) en el follaje. El valor óptimo postulado para esta relación fue 15. Attiwill et al (1996), indican que la mencionada relación es particularmente sensible a la adición de fertilizante.

2.9.2 Usos del análisis foliar

Barros y Pritchett (1979), encontraron que el contenido de nitrógeno foliar no era afectado por diferentes tasas de aplicación de nitrógeno, en *Eucalyptus grandis*.

Dighton et al (1991), encontraron que los niveles de nitrógeno adicionados en plantaciones de *Eucalyptus grandis*, causan efecto significativo en el crecimiento en altura de los árboles y esto se ve reflejado en un incremento en el nitrógeno foliar a medida que aumentan las dosis de agregado de fertilizante. Sin embargo, a los mismos autores la experiencia les sugiere que en regiones templadas, los bioanálisis de raíces pueden detectar la respuesta a cambios de disponibilidad de nutrientes mucho más rápido que los análisis foliares. Las raíces han respondido a las aplicaciones de fertilizante, al mes de realizadas las mismas, respuesta no detectada en el follaje en ese tiempo.

2.9.3 Concentración foliar de nutrientes

La eficiencia, generalmente definida como la cantidad de materia seca producida por gramo de nutriente, es simplemente el inverso de la concentración en tejidos y puede ser afectada por diferentes procesos. Cuando crecen en condiciones similares, las especies de lento crecimiento generalmente tienen mayor concentración en tejidos de un nutriente limitante (menor eficiencia), respecto a especies de rápido crecimiento. Esto sugiere que la eficiencia en el uso de nutrientes no es una adaptación importante al estrés de nutrientes, (Bremner et al, 1971).

En plantaciones de *Eucalyptus*, Bellote et al (1999), encontraron que las modificaciones estacionales influyen las variaciones de los tenores de nutrientes en las hojas. De los macronutrientes, el fósforo es el que presenta mayor variación (60%), mientras que el nitrógeno es el que menos varía, (9%).

Por su parte, Noble et al (1990), observaron una relación altamente significativa ($r=0.91$) entre el contenido de carbono orgánico y los niveles de nitrógeno en hojas de *Eucalyptus grandis* de 12 meses de edad.

Estudiando el contenido de nitrógeno vegetal, el nivel de nitratos en una muestra debe ser interpretado diferente para los distintos estados fisiológicos de la planta. Cuando se usan estos valores como una guía para fertilizar, se debe prever que existe cierta tasa de descenso del contenido de nitrato a medida que aumenta la edad de la planta. No obstante, el fertilizante debe ser aplicado antes de que el contenido de nitrato se aproxime demasiado al valor crítico, (Hauck, 1984).

2.10 ANÁLISIS DE SUELO

La determinación de elementos esenciales para las plantas, disponibles en los suelos, es necesaria siempre que las plantaciones deban ser mantenidas con altos niveles de producción y eficientes (Isaac et al, 1971).

El tenor de nutrientes del suelo determinado por análisis de rutina, es el parámetro más utilizado por los técnicos que trabajan en el área forestal, en la evaluación de la fertilidad del suelo, (Barros et al, 1990).

Nitrógeno inorgánico del suelo (Hauck, 1984).

Las determinaciones del $N-NO_3^-$ del suelo, se hacen rutinariamente en áreas donde las pérdidas invernales por lavado son escasas o después de laboreo estival o de agregados importantes de nitrógeno (a través de fertilizaciones o de abono animal).

Estimaciones del contenido de nitrógeno mineral (N inorgánico) del suelo.

Las ecuaciones que incluyen términos de N mineral requieren de (i) un análisis químico correcto, exacto y (ii) la colecta de una muestra de suelo representativa.

Los aspectos analíticos no presentan mayores problemas desde que el $N-NO_3^-$ es extractado fácilmente con varias soluciones de sales y es rápidamente analizado con equipamiento moderno.

El mayor problema con las determinaciones de N mineral es la colecta de una muestra de suelo adecuada. La variabilidad del $N-NO_3^-$ en el suelo es multidimensional. Estas dificultades de muestreo radican en:

- 1) la solubilidad y movilidad del $N-NO_3^-$
- 2) la falta de uniformidad en la aplicación de N
- 3) la heterogeneidad espacial que naturalmente tiene la materia orgánica y el agua del suelo
- 4) la heterogeneidad en el tiempo y el espacio de las transformaciones del N del suelo, como lavado, desnitrificación e inmovilización.

Las dificultades también resultan de la preparación de las muestras y las limitantes económicas de la colecta de las mismas.

2.10.1 Métodos de muestreo

Bellote et al (1999), concuerdan en que los primeros centímetros del suelo son los más importantes para evaluaciones y correlaciones entre la fertilidad del suelo y la nutrición de eucaliptos.

Estos autores indican que para estudios de evaluación y monitoreo nutricional del mencionado género, se recomienda coleccionar muestras de suelo de las siguientes profundidades: A=0-10 cm, B=10-20 cm y C= 20-30 cm; mezclarlas en la proporción 5:3:2 (A, B y C respectivamente), homogeneizándolas bien y después proceder al análisis de rutina. Según Hauck (1984), la profundidad de muestreo deseada corresponde a la zona radicular. Las profundidades comúnmente usadas varían entre 60 y 120 cm.

2.11 CONCLUSIONES DE LA REVISION

- Realizar muestreos periódicos y análisis de tejido vegetal, es de gran valor en el asesoramiento de un programa de fertilización que asegure un adecuado aporte de nitrógeno y, en algunos casos, en la planificación del ciclo siguiente.
- El objetivo de obtener la máxima producción con el mínimo agregado de insumos, se logra mejor utilizando técnicas que anticipen las deficiencias de nitrógeno, antes de que éstas realmente ocurran.
- Existen carencias de información cuantitativas sobre los ciclos internos de los nutrientes. Un mejor conocimiento de la nutrición de los eucaliptos ayudaría a formular opciones de manejo, orientadas a incrementar la productividad de las plantaciones.
- En plantaciones establecidas es difícil cuantificar directamente la variación estacional en la absorción de nutrientes; esto se debe a que la variación es muy pequeña en relación al contenido total de nutrientes de los árboles. Además, los cambios fenológicos resultan en ciertas redistribuciones de nutrientes dentro de cada árbol y la variabilidad entre árboles dificulta el conocimiento de los cambios estacionales en los contenidos de nutrientes.
- La ganancia de fertilizar es mayor en buenos sitios, con suelos profundos y un adecuado aporte de agua del suelo.
- Existe un incremento en la biomasa de tallo y ramas a partir del cierre del follaje, cuando la biomasa foliar se hace relativamente estable. Como consecuencia, la proporción de materia seca de hojas y el contenido de nutrientes en ellas, comienzan a disminuir con el aumento de la edad de los árboles, a partir de ese momento
- Aumentando la densidad poblacional, la producción total de materia seca por planta, disminuye. En cambio, la producción total por unidad de superficie, aumenta. A su vez, al incrementar la densidad poblacional, se observa una mayor acumulación de biomasa como madera.
- Llegada cierta edad, se estabiliza la acumulación de biomasa de los árboles. Dicha estabilización se produce en edades más tempranas para los espaciamientos más reducidos y en edades mayores en los espaciamientos más amplios.
- Del mismo modo, cualquiera sea la fertilidad del lugar de plantación, se alcanza una estabilización en la producción de biomasa y en la acumulación de nutrientes. En los sitios más fértiles, se estabiliza antes la producción de biomasa, pero continúa acumulándose N en los árboles (esto determina el criterio biológico de cosecha); en cambio, en los sitios más pobres, continúa la producción de biomasa por más tiempo, pero con menor acumulación de nutrientes por unidad de biomasa producida.
- La aplicación de fertilizantes en todos los casos incrementó la biomasa aérea total y dependiendo de la edad de los árboles, resultó en mayor crecimiento de la biomasa foliar o en una mayor acumulación de biomasa como madera.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 SITIO EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en una plantación de *Eucalyptus dunnii* Maiden de tres años de edad, instalada en el establecimiento Arroyo Sauce perteneciente al proyecto SURESA (Shell Uruguay Renewable Energy S.A.). Dicho establecimiento está ubicado en el departamento de Paysandú, 48 Km. al este de la capital departamental, 700m al sureste del centro poblado Piedras Coloradas.

3.2 TIPO DE SUELO

En el siguiente cuadro se muestran datos del contenido de nitrógeno en dos horizontes del suelo. Los mismos fueron aportados por la empresa y corresponden al momento previo a la plantación, en Setiembre de 1996.

Cuadro N° 4: Contenido de nitrógeno en el suelo, previo a la plantación.

Horizonte	N Org. (%)	N min. (ppm)	NO ₃ (ppm)
A (0-60 cm)	0.05	18.2	2.0
B (60-120 cm)	0.05	14.4	12.3

En el **cuadro N° 5** se indican algunos datos analíticos del suelo, correspondientes al sitio del ensayo, para las tres posiciones en la ladera. El muestreo de suelo fue realizado en el mes de Junio de 2001.

Cuadro N° 5: Datos analíticos del suelo, del lugar en donde se realizó el experimento.

Horiz.	Repet.	Ladera	pH	pH	C org.	Ca	Mg	K	Na
			(H ₂ O)	(KCl)					
A11	1	Baja	5.35	4.24	1.66	4.71	1.09	0.21	0.34
A12			5.96	4.65	1.36	9.10	1.82	0.20	0.31
Bt2			6.59	4.98	0.50	19.10	4.47	0.42	0.54
A11	2	Media	5.58	4.17	1.34	3.20	0.71	0.24	0.31
A12			5.85	4.56	1.22	9.29	1.40	0.22	0.27
Bt2			6.49	4.88	0.36	17.50	2.53	0.46	0.40
A11	3	Alta	5.44	4.20	1.15	1.28	0.42	0.27	0.28
A12			5.68	4.22	0.81	3.21	0.82	0.22	0.35
Bt2			6.02	4.38	0.55	10.00	3.26	0.40	0.26

Nota: pH determinado por potenciometría (relación suelo : solución 1: 2.5); Corg. por Walkley-Black; cationes intercambiables mediante extracción con acetato de amonio 1M pH 7.

Según CO.N.E.A.T., el suelo del establecimiento corresponde al grupo 9.3. El material geológico originario corresponde a areniscas con cemento arcilloso, frecuentemente de tonos rosados, a veces rojizos o blanco grisáceos. El relieve en general es suavemente ondulado con predominio de 1-3% de pendiente. Es una combinación de laderas extendidas (de 1-2% de pendiente), predominando sobre laderas de disección de mayor convexidad y pendiente (3-5% de pendiente) que corresponden a las litologías más gruesas del sedimento. Los suelos predominantes corresponden a Planosoles Dústricos Ócricos, a veces Melánicos y Argisoles Dústricos Ócricos Abrúpticos, a veces Típicos.

El uso predominante es pastoril y la vegetación es de pradera estival en general con baja densidad de malezas, aunque casi siempre con la presencia de *Paspalum quadrifarium* en los bajos y concavidades húmedas y *Andropogon* y *Scizachyrium* en las laderas. Existen áreas bajo cultivo, fundamentalmente de verano, dependiendo la densidad de los mismos de la localización geográfica de la unidad. Este grupo corresponde a la unidad Algorta e integra la unidad Cuchilla del Corralito (Dpto. de Soriano) en la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.).

En el cuadro N° 3 del apéndice se presenta una breve descripción del suelo correspondiente a las tres posiciones en la ladera del experimento. El suelo correspondería a un Argisol Dústrico Ócrico.

3.3 HISTORIA DE LA CHACRA Y LABOREO

El manejo anterior del suelo fue una rotación de pasturas y cultivos (maíz y trigo o cebada). La situación antecedente al monte fue de pradera. El laboreo previo a la forestación fue en franjas, con subsolador, arado de disco y rotovador. Se realizó control total de malezas y posteriormente, cuando fue necesario se hicieron aplicaciones de glifosato y oxifluorfen.

3.4 FERTILIZACIÓN PREVIA

En el momento de plantación se hizo una fertilización inicial con 168g/pl. de NPK, Zn y B, (N 19g; P 20g; K 24g; Zn 0.99g; B 0.14g). A los tres meses de la plantación se volvió a aplicar N (50 g de urea/pl.). En todos los casos el fertilizante se aplicó en dos lados de cada planta (la mitad a cada lado) y a 10-15 cm de profundidad.

3.5 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Los tratamientos, correspondientes a niveles de nitrógeno, consistieron en el agregado de 0, 50, 100 y 200g de urea/pl., en dos densidades de plantación de *Eucalyptus dunnii*, 2500 y 3333 pl./ha. El marco de plantación era cuadrado, de 2 x 2m y 1.73 x 1.73m, respectivamente.

Los tratamientos se realizaron a los 34 meses de edad de la población y se evaluó el efecto 8 meses después. Todos los árboles de una parcela recibieron el mismo tratamiento de fertilización. La aplicación del nitrógeno se realizó los días 10 y 11 de setiembre de 1999, inmediatamente posterior a la primera medición y al muestreo inicial de los árboles.

Para la aplicación del fertilizante se utilizaron pequeñas palas chatas, con una prolongación lateral (tipo pedal) para facilitar la introducción de la herramienta en el suelo. El método de uso se describe en el apéndice.

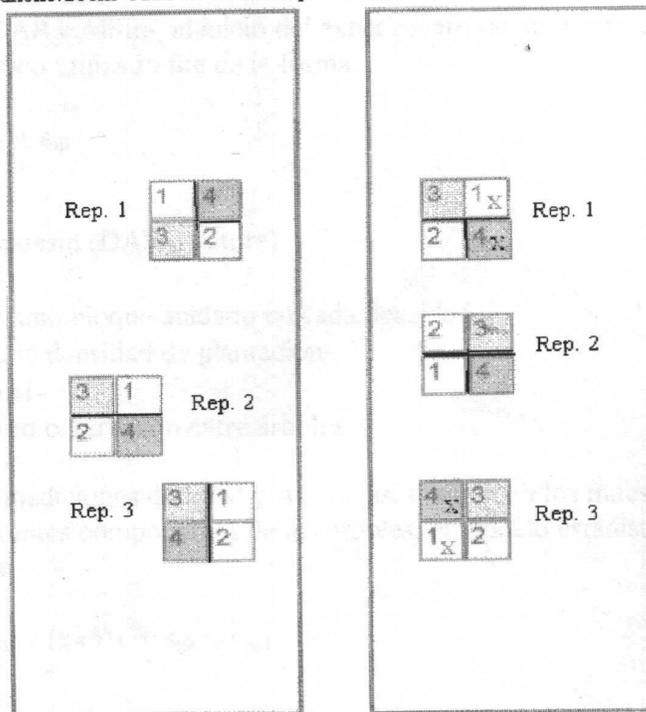
3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

En la figura 10 se muestra el croquis del sitio experimental.

ancho: 200m cada densidad de plantación

largo:
500m

N
↑



3333 plantas/ha

2500 plantas/ha

X: parcelas seleccionadas para realizar el análisis químico.

Figura 10: Croquis del sitio experimental.

Se utilizaron 2 cuadros plantados con densidades diferentes: 2500 y 3333 árboles por hectárea. En cada densidad se instaló un experimento en el cual se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones y cuatro tratamientos de fertilización: 0, 50, 100 y 200 g de urea por árbol.

Las parcelas, cuadradas, estaban formadas por 196 árboles (14 x 14); las dos hileras perimetrales no formaron parte de la evaluación, sino que se utilizaron como buffer, para evitar interferencias entre tratamientos. De este modo, cada parcela contenía 100 árboles útiles (10 x 10) a los efectos del ensayo.

El croquis indica el sitio aproximado de las tres repeticiones en ambas densidades de plantación. Los números ubicados en cada parcela indican el tratamiento que correspondió a cada una, asignado al azar.

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para las variables DAP y Altura, al inicio del experimento (al momento de aplicar la urea), el modelo estadístico utilizado fue de la forma:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta(\delta_j)_i + \delta_j + \varepsilon_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} es la variable de respuesta (DAP o Altura)

μ es la media general

$\beta(\delta_j)_i$ es el efecto del i-ésimo bloque anidado en cada densidad

δ_j es el efecto de la j-ésima densidad de plantación

ε_{ij} es el error experimental

ε_{ijk} es el error de muestreo o variación entre árboles

Para las siguientes mediciones de DAP y Altura, así como para los muestreos de materia seca de los diferentes componentes de los árboles, el modelo estadístico utilizado fue el siguiente

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta(\delta_j)_i + \delta_j + \tau_k + (\tau \times \delta)_{jk} + \varepsilon_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} es la variable de respuesta

μ es la media general

$\beta(\delta_j)_i$ es el efecto del i-ésimo bloque anidado en cada densidad

δ_j es el efecto de la j-ésima densidad de plantación

τ_k es el efecto del k-ésimo tratamiento de fertilización

$(\tau \times \delta)_{jk}$ es la interacción densidad por tratamiento

ε_{ijk} es el error experimental

ε_{ijkl} es el error de muestreo o variación entre árboles

Para las determinaciones de nitrógeno en planta para los distintos componentes de biomasa y para el total de la planta, dado que solo se obtuvo información de los tratamientos 1 y 4 en 2 repeticiones de la densidad 2500, el modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ijk} es la variable de respuesta

μ es la media general

β_i es el efecto del i-ésimo bloque

τ_j es el efecto de la j-ésimo tratamiento de fertilización

ε_{ij} es el error experimental

Para los tres modelos estadísticos anteriormente planteados, se utilizó el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS versión 6.12, y las medias de los efectos significativos se separaron utilizando el test de Tukey.

3.8 MEDICIONES

Fueron medidos el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total (H) de todos los individuos que formaron parte del experimento (aproximadamente 2400 árboles -1200 de cada densidad de plantación-), en dos oportunidades: al inicio y ocho meses después. Esto fue en los meses de setiembre de 1999 y mayo de 2000.

Los instrumentos de medición utilizados fueron Vertex para medir H y cinta diamétrica para medir el DAP; la apreciación de los instrumentos en cada caso fue al centímetro y al milímetro, respectivamente.

Los datos obtenidos en ambas mediciones fueron analizados estadísticamente, para cada densidad poblacional por separado. De este análisis se obtuvo un valor promedio de cada variable medida, (DAP y H). Posteriormente fueron seleccionados a campo, árboles que cumplieran con ambas medidas promedio, con el objetivo de que pasaran a formar una población submuestra, (individuos representativos de la densidad poblacional a la que pertenecían, por ser de diámetro y altura promedio).

3.9 MUESTREO DE ÁRBOLES

Para una mejor comprensión, se hará referencia a los árboles seleccionados para los muestreos, como Árboles con Medidas Promedio iniciales y finales, (**AMPi** y **AMPf** respectivamente). Dichos árboles fueron apeados, medidos, pesados y de cada uno, se obtuvo una fracción muestra de cada componente de la biomasa aérea. (Las medidas registradas a cada **AMP** se indican en el **Cuadro N° 1**). En las dos oportunidades, los árboles se apearon dejando un tocón de 20 cm de alto. Los valores promedio de las dos variables, obtenidos en la medición inicial y final, que se tuvieron en cuenta para seleccionar los **AMP**, se muestran en el apéndice.

3.9.1 Muestreo inicial

Se apearon 6 **AMPi**, (uno de cada repetición, en ambas densidades de plantación). La muestra, en esta oportunidad fue muy reducida debido a que solo se pretendían evaluar diferencias entre las dos densidades, pero no entre tratamientos, (en ese momento, aun no se habían aplicado los tratamientos de fertilización).

3.9.2 Muestreo final

Se apearon 72 **AMPf**: 2 de los tratamientos pares y 4 de los tratamientos impares¹. En esta oportunidad, se seleccionaron árboles con diferentes medidas en función de las dos densidades y también, de los distintos tratamientos.

A continuación se muestra un esquema con las medidas registradas en el momento inicial y final; los valores se muestran en el apéndice.

	Largo tot.	Largo copa	Peso tot. fuste	Peso muestra fuste	Peso tot. cort.	Peso Muestra Cort.	Peso tot. ramas	Peso Muestra ramas	Peso tot. hojas	Peso muestra hojas
AMPi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	S/D	✓	S/D	✓
AMPf	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

En los **AMPi** se midió largo total, largo de copa, peso total del fuste y de corteza. En los **AMPf**, además de todas las medidas registradas en el primer muestreo, también se midió el peso total de hojas y ramas. De los cuatro componentes de la biomasa aérea se extrajo una fracción muestra, a partir de las cuales se calcularon los valores de los componentes de rendimiento. Estas medidas fueron tomadas en el momento del apeo, por lo cual, los pesos corresponden a pesos frescos.

¹ El único objetivo de muestrear solo dos árboles de algunos tratamientos es el de disminuir el tamaño de la muestra. De esta forma, se apearon 24 árboles menos de los que se hubieran necesitado en caso de seleccionar 4 árboles de cada tratamiento.

3.10 ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Luego de obtener el peso fresco de las mismas, fueron secadas en estufa con circulación forzada de aire, hasta peso constante; este peso se registró como peso seco. Posteriormente, todas las fracciones muestra fueron molidas. En el caso de ramas y cortezas se utilizó una lija eléctrica. De los tallos se obtuvo material fino, haciendo perforaciones con taladro y aserrándolos en sierra circular. Para las hojas se usó un molino vegetal.

3.11 COMPONENTES DE RENDIMIENTO

Se trabajó con los componentes de biomasa aérea: tallo, corteza, ramas y hojas. A partir de los valores de *Pesos frescos y secos de las muestras* es posible calcular el *porcentaje de MS* de cada componente de la biomasa. Luego, este valor y el *Peso fresco total* de los componentes, permiten estimar el *Peso seco* de cada componente de la biomasa aérea. La suma de los Pesos secos mencionados, resulta en el *Peso seco total de los AMP*. En el apéndice se muestran las fórmulas de cálculo.

En el primer muestreo, no fueron registrados los datos de *Peso fresco total* de ramas y hojas, por lo cual, no se pudo calcular el peso seco de esos componentes ni estimar el peso seco total de los árboles enteros.

Los datos que se muestran en los diferentes cuadros de peso seco y materia seca, corresponden a la media de los **AMP** que fueron apeados en los momentos inicial y final de la evaluación.

3.12 ANALISIS QUÍMICOS DE LAS FRACCIONES MUESTRA

Se realizaron análisis químicos para las determinaciones de nitrógeno en los distintos componentes de la biomasa. Los mismos se realizaron para dos tratamientos de fertilización (0 y 200g de urea/pl), dos repeticiones y una sola densidad de plantación, 2500 pl./ha. Se analizaron muestras correspondientes únicamente al momento final. (En el croquis del sitio experimental están señalizadas las parcelas de las que se obtuvo el material para analizar químicamente).

Obtención de las muestras para el análisis:

Para el análisis de cada uno de los componentes de la biomasa aérea, se utilizaron muestras compuestas. Cada una se generó mezclando material de los árboles muestreados de cada tratamiento (4 árboles del trat. 1 y 2 árboles del trat. 4). Se realizó el mismo procedimiento para ambas repeticiones.

La fracción muestra de cada componente de la biomasa y para cada tratamiento, por ejemplo "tallo" con tratamiento "1" y de la repetición "1", se generó con unos gramos de tallo de cada **AMPf** que había recibido ese tratamiento en esa repetición; fueron 4 los árboles, en este caso, que integraron la muestra compuesta.

A continuación se muestra un esquema de obtención de las muestras compuestas:

COMPONENTE	TRAT.	REPETI- CIÓN	Nº DE ÁRBOLES DE LA MUESTRA
TALLO	1	1	4
	4		2
CORTEZA	1		4
	4		2
RAMAS	1		4
	4		2
HOJAS	1		4
	4		2
		TOTAL DE MUESTRAS	8

Este ejemplo es para una sola repetición; en total, se obtuvieron 16 muestras para analizar químicamente.

La determinación de nitrógeno en el tejido vegetal se realizó mediante digestión por vía húmeda con ácido sulfúrico y mezcla de catalizadores y posterior destilación de amonio por el método Kjeldahl.

3.13 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La primera medición de **DAP** y **H** se inició el día 27 de agosto de 1999. Una vez finalizada, se llevó a cabo la fertilización nitrogenada, durante los días 10 y 11 de setiembre de 1999.

Como fuera mencionado en la revisión bibliográfica, habría que sincronizar las aplicaciones de urea para que coincidan con un período de precipitación pluvial. De esta forma, se asegura una mayor proporción de fertilizante absorbido por los árboles., debido a una menor probabilidad de pérdida por volatilización. Esto no ocurrió en el ensayo; **en el primer mes posterior a la fertilización, solo se registraron 3 mm de precipitación.** Los días tercero y cuarto siguientes a la fertilización, se registró en total 1 mm; indudablemente, esa cantidad no fue suficiente para llegar a humedecer los primeros 10-15 cm de suelo (donde fue ubicado el fertilizante).

Otros datos de interés registrados durante el ensayo son las temperaturas. En el mes de setiembre, la **temperatura promedio** fue 15.4°C y en octubre, 17.3°C. Es de gran importancia destacar que, una semana después de la fertilización, la **temperatura máxima** registrada llegó a los 29°C. A su vez, durante esa primera semana se alcanzaron máximas de 20 a 26.4°C.

Cuadro N° 6: Promedios mensuales de precipitación, temperatura media y humedad relativa media, para el período que duró el experimento.

	Precip. (mm)	T media (°C)	HR media (%)
Setiembre	1	15.49	58.12
Octubre	67.5*	17.25	63.98
Noviembre	18.0	19.94	50.67
Diciembre	47.0	23.53	44.38
Enero	59.5	24.98	46.21
Febrero	127.0	23.29	52.14
Marzo	68.5	20.04	59.76
Abril	359.0	17.81	79.37
Mayo	232.5	13.21	80.07

*Nota: el día 13 de este mes se registró la mayor precipitación diaria, de 52mm.

En el cuadro N° 4 del apéndice se muestran los registros diarios de temperatura (mín., máx. y media), precipitación y humedad relativa (mín. y máx.) del primer mes inmediato a la fertilización.

3.13 NOMENCLATURA

La nomenclatura que se utilizará en la presentación de los resultados es la siguiente:

Referencias	
Diámetro a la altura del pecho	DAP
Altura	H
Tratamiento 1	0 g de urea /pl.
Tratamiento 2	50 g de urea /pl.
Tratamiento 3	100 g de urea /pl.
Tratamiento 4	200 g de urea /pl.
Materia seca	MS (%)
Peso seco	PS (Kg.)
Peso seco total	PS (Kg. /árbol)(t /ha)
Promedio de las dos densidades (en el momento inicial y final)	\bar{X} general (i, f)

4. RESULTADOS

4.1 CRECIMIENTO: EVOLUCIÓN DEL DAP Y LA ALTURA

A continuación se muestran los datos de campo de ambas variables. Estos datos aportan información acerca del crecimiento que tuvo la plantación previo a la aplicación del fertilizante y más importante aún, entre la aplicación del fertilizante y el momento final del ensayo.

Cuadro N° 7: Medidas iniciales y finales de DAP (mm) y H (m).
Valores promedio de tres repeticiones.

DENS.	DAPi	Hi	DAPf	Hf
2500	98.66	12.35	102.68	13.42
3333			103.66	13.47
		\bar{x} general	103.17	13.45

Los valores de **DAP** y **H iniciales**, corresponden al promedio de los datos originales, (promedio de los valores reales medidos a campo). Los valores de **DAP** y **H finales**, están corregidos según la covariable del modelo estadístico, que es la densidad. Por este motivo, se obtienen valores finales teóricos (medias ajustadas) que están corregidos por las covariables, que indican cómo han evolucionado ambas variables en estudio, asumiendo que ambas densidades parten de igual condición (DAP promedio de 98.66 mm y H promedio de 12.35 m).

La información que se obtiene del cuadro N° 7 es la siguiente:

- existe diferencia estadísticamente significativa en el **DAPi** entre ambas densidades poblacionales. En promedio, los árboles plantados a 2500 pl./ha poseen mayor **DAPi**; son 12.14 mm más gruesos.
- los árboles plantados a la densidad de 3333 pl./ha tienen mayor **Hi**; en promedio son 0.13 m mayores que los árboles plantados a menor densidad, pero esta diferencia no es estadísticamente significativa.
- respecto al **DAPf** y a la **Hf**, los valores son muy similares entre ambas poblaciones, difiriendo en menos de 1 mm y 0.05 m respectivamente, correspondiendo los mayores valores a la población de 3333 pl./ha; los valores finales no muestran diferencias estadísticamente significativas entre ambas densidades de plantación.

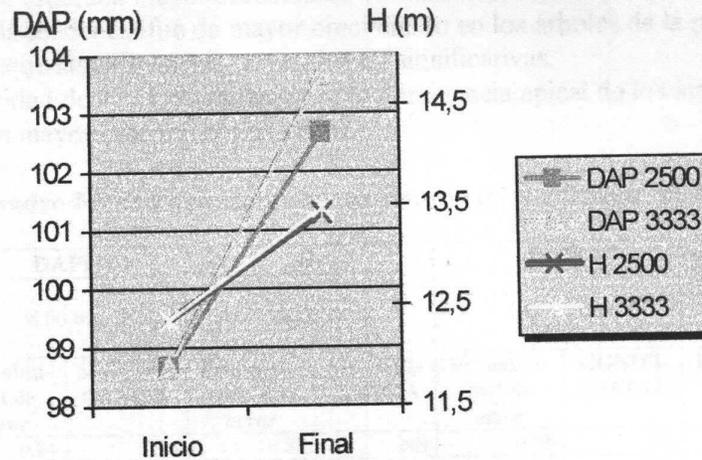


Figura 11: Evolución de DAP y H entre el momento inicial y final.
Valores promedios de tres repeticiones.

En la figura N° 11 se expresan en forma gráfica los valores del cuadro anterior. Se observa la evolución de ambas variables (DAP y H), partiendo cada una de un valor común para las dos densidades de plantación (media general). En el momento final se observa cómo evolucionó cada variable para cada densidad.

A pesar de que en el momento final no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las variables estudiadas, se destaca el mayor incremento de DAP en la población más densa.

Cuadro N° 8: Evolución de las variables DAP y H entre ambas mediciones. Efecto de las distintas densidades de plantación. Valores promedio de tres repeticiones.

DENS.	Incremento respecto a la media general inicial		Incremento relativo respecto a la media general inicial ²	
	DAP (mm)	H (m)	DAP (%)	H (%)
2500	4.02	1.07	4.07	8.66
3333	5.00	1.12	5.07	9.07
\bar{x} general f	4.51	1.10	4.57	8.90

En el cuadro anterior se ve claramente que ambas variables medidas incrementaron durante los ocho meses que transcurrieron entre ambas mediciones.

En promedio, el incremento fue mayor en la población de 3333 pl./ha.

² Se utilizó la fórmula: $100 \cdot (\text{valor final} - \text{valor inicial}) / \text{valor inicial}$

○ Si bien se esperaba mayor crecimiento en diámetro de los árboles de la población de 2500 pl./ha, la tendencia fue de mayor crecimiento en los árboles de la población de 3333 pl./ha, aunque las diferencias no resultaron significativas.

○ La densidad de 3333 pl./ha favorece la dominancia apical de los árboles, resultando en un mayor crecimiento en altura.

Cuadro N° 9: Fuentes de variación, iniciales y finales, de DAP y H.

F. DE VAR.	DAPi		Hi		DAPf		Hf	
	Probabilidad de error	SIGNIFICANCIA						
\bar{X} general	98.66 mm		12.35 m		103.17 mm		13.45 m	
TRATAM.	0.81	NS	0.88	NS	0.95	NS	0.57	NS
DENSIDAD	0.01	**	0.77	NS	0.26	NS	0.71	NS
DENS*TRAT.	0.13	NS	0.54	NS	0.61	NS	0.84	NS
DAP i					0.01	**		
Hi							0.01	**

Nota: **: P<0.01; NS: No Significativo.

El análisis estadístico de las variables estudiadas (DAP y H) indica.

○ Se observaron diferencias significativas entre DAP y H iniciales y finales.
 ○ No hubo diferencias significativas entre tratamientos, para las variables estudiadas.

○ Hubo diferencia significativa para DAPi entre las dos densidades.

○ No hubo respuesta diferencial a N según densidad, (interacción no significativa).

■ La principal causa que se plantea explicando la falta de respuesta a la aplicación de N, es la ausencia de precipitación posterior a la aplicación de fertilizante. Si bien hubo absorción de N (como se verá más adelante, en los resultados de los análisis químicos), la falta de precipitaciones (respecto a las exigencias naturales de la especie) no permitió que el fertilizante absorbido se expresara como incremento diferencial de diámetro o altura.

■ Cromer et al (1982), evaluando el crecimiento en diámetro de *E. g. ssp. globulus* encontraron que hasta la edad de 4 años, los árboles que habían recibido fertilizante tuvieron mayor tasa de crecimiento, respecto a los que estaban sin fertilizar. A partir de esa edad y hasta los 9.5 años, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos y las pendientes de las curvas de crecimiento del DAP, para las distintas dosis, fueron similares.

■ Respecto a las dosis de fertilizante aplicadas, una aplicación moderada de fertilizante (3.4 g N/pl) produce un crecimiento sustancial en el DAP de *E. g. ssp. globulus*, pero la respuesta adicional a las dosis mayores (10.1 y 20.2 g N/pl), fue proporcionalmente menor, según Cromer et al, (1982). Se debe destacar que en el ensayo con *E. dunnii* se utilizaron las dosis 0, 23, 46 y 92g N/pl. Si bien las densidades

de plantación que se evaluaron son considerablemente mayores a las comúnmente utilizadas en plantaciones comerciales, las dosis de nitrógeno aplicadas por planta también fueron muy superiores a las evaluadas en otros experimentos consultados.

▪ De acuerdo a lo expuesto por diversos autores sobre la concentración crítica de un nutriente, surge la interrogante de cuál nutriente habrá pasado a ser limitante y habrá quedado por debajo del nivel crítico, una vez aplicado el nitrógeno. Una hipótesis probable a la falta de respuesta de las variables a la aplicación de N, sería que otro nutriente pasó a ser limitante del crecimiento en DAP y H.

Cuadro N° 10: Valores iniciales y finales de DAP (mm) y H (m), para los distintos tratamientos. Valores promedio de tres repeticiones y de ambas densidades de plantación.

TRATAM.	DAPI	Hi	DAPf	Hf
0	98.28	12.46	103.29	13.32
50	99.67	12.35	103.35	13.56
100	97.67	12.28	103.03	13.45
200	99.02	12.31	103.02	13.47
- x general	98.66	12.35	103.17	13.45

- Respecto al momento inicial del ensayo, en **DAPI** y **Hi** no se deben buscar efectos de los distintos tratamientos, debido a que la primera medición se realizó junto con la fertilización.
- Los valores finales de ambas variables, **DAPf** y **Hf**, en todos los tratamientos fueron mayores que la media poblacional inicial correspondiente.

Cuadro N° 11: Evolución de las variables DAP y H entre ambas mediciones. Efecto de los distintos tratamientos de fertilización. Valores promedio de tres repeticiones y de ambas densidades de plantación.

TRATAM.	Incremento respecto a la media general inicial			
	DAP		H	
	Valor absoluto (mm)	Valor relativo (%)	Valor absoluto (m)	Valor relativo (%)
0	4.63	1.05	0.97	1.08
50	4.69	1.05	1.21	1.10
100	4.37	1.04	1.10	1.09
200	4.36	1.05	1.12	1.09

Para ambas variables los mayores valores se obtuvieron con 50g urea/pl., aunque las diferencias no fueron significativas. El incremento en DAP fue de 4.69mm y en H fue de 1.21m, respecto a la media general inicial.

Para ambas variables los mayores valores se obtuvieron con 50g urea/pl., aunque las diferencias no fueron significativas. El incremento en DAP fue de 4.69mm y en H fue de 1.21m, respecto a la media general inicial.

La explicación del mayor incremento en **DAP** y **H** (como promedio de ambas densidades de plantación), logrados con la aplicación de 50g de urea/pl., pueden estar explicados por el mayor rendimiento que tuvo la plantación de 3333 pl./ha con ese tratamiento (ver cuadro N°14).

4.2 CÁLCULOS DE RENDIMIENTO

Muestreo inicial

PESO SECO

Como ya se mencionó en Materiales y Métodos, en el muestreo inicial solo se registraron los pesos totales de tallo y corteza. La carencia de los pesos totales de hojas y ramas impiden obtener los pesos secos de ambos componentes, por lo que no se llegará al Peso seco total de los **AMPI**. Por el mismo motivo, tampoco será posible calcular los porcentajes de MS en base seca de los componentes de la biomasa aérea.

Cuadro N° 12: Peso seco de tallo y corteza de los AMPI; valores individuales por árbol (Kg/árbol) y estimación para la superficie (t/ha). Valores promedio de tres repeticiones.

DENS.	PS Tallo	PS Cort.	PS tallo+ cort (Kg/árbol)	PS tallo+ cort (t/ha)	PS tallo+ cort ³ (t/ha)
2500	18.67	3.79	22.46	56.15	46.18
3333	15.44	2.54	17.98	59.93	52.29
Superioridad* (%)	21	49	25	7	13
SIGNIFICANCIA	NS	NS			

Nota: *Superioridad = $100 \times (\text{PS mayor} - \text{PS menor}) / \text{PS menor}$
NS: no significativo

Del cuadro anterior surge que:

- La diferencia de PS de tallo y corteza, entre ambas densidades, no es estadísticamente significativa.
- A pesar de ello, los árboles de la población de 2500 pl./ha, en promedio, muestran cierta superioridad en el peso seco de tallo más corteza.
- La diferencia relativa de peso seco es más acentuada en el componente corteza; este componente mostró un valor 49% mayor en la población de 2500 pl./ha, mientras que el PS de tallo fue 21% superior.

³ Cálculos corregidos según sobrevivencia de cada población. (Ver cuadro con los valores de sobrevivencia en el apéndice).

- Los árboles de la población de 3333 pl./ha, resultan en mayor peso seco de tallo más corteza por unidad de superficie (t/ha), 7% más que el de la densidad menor, a pesar de tener menor peso seco individual cada árbol. Assis et al (1999), (citando a Vital et al, 1987 y Leite et al, 1997) expresan claramente que el principal factor en influenciar la producción de biomasa por unidad de área de *E. grandis* y *E. urophylla*, hasta los 57 meses de edad, es el número de plantas por hectárea, causando reducciones en el crecimiento individual de los árboles pero mayor producción volumétrica con los espaciamientos más reducidos.

MATERIA SECA

Cuadro N° 13: Porcentaje de materia seca (en base verde) de los diferentes componentes de los AMPi. Valores promedio de tres repeticiones.

DENSIDAD	MS Tallo	MS Cort.	MS Ramas	MS Hojas
2500	47.81	41.44	53.49	48.17
3300	46.34	40.88	55.56	45.24
Significancia	NS	NS	NS	NS

Nota: NS: no significativo

Del cuadro anterior surge que:

- En promedio, los componentes tallo, corteza y hojas de la población de 2500 pl./ha, están constituidos por un mayor contenido de materia seca que los de la población más densa; es decir, sus componentes tienen menor contenido de humedad. La excepción es el componente ramas.
- Esta diferencia entre ambas poblaciones es más acentuada cuando se comparan los valores de MS de hojas; en promedio, las hojas de la población de 2500 pl./ha tienen 2.93 % más MS que las hojas de la población más densa.
- En promedio, las ramas en los árboles de la población de 3333 pl./ha, están formadas por más materia seca (2.07 % más) que los de la población menos densa.
- En ambas poblaciones, los componentes ramas y corteza presentan los valores extremos de MS, máximo y mínimo respectivamente. Esto indica que las ramas son la parte aérea con menor humedad, contrario a la corteza que sería el componente con mayor contenido de humedad. El alto contenido de humedad de la corteza se debe a que gran parte de la misma, aún era corteza viva⁴.
- Entre ambas densidades de población los valores de materia seca son estadísticamente iguales, para todos los componentes de la biomasa aérea.

⁴ Durante el descortezado de las trozas se pudo apreciar el alto contenido de humedad de la corteza, fundamentalmente en la cara interna, más próxima al tallo.

Cuadro N° 14: Peso seco (Kg/árbol) para cada componente de los AMPf y peso seco total de la biomasa aérea (t/ha). Valores promedio de tres repeticiones.

DENS	TRAT	Tallo	Corteza	Ramas	Hojas	Peso seco tot (Kg/árbol)	Peso seco tot (t/ha)	Peso seco tot ⁵ (t/ha)
2500	0	21.42 A	4.07 A	3.12 A	2.71 A	31.31 A	78.28	64.97
	50	21.56 A	4.01 A	2.40 A	2.71 A	30.67 A	76.68	60.57
	100	21.33 A	3.95 A	2.57 A	2.81 A	30.67 A	76.68	64.41
	200	22.85 A	4.25 A	3.39 A	3.26 A	33.75 A	84.38	68.34
3333	0	17.67 B	2.97 B	1.81 B	1.82 A	24.27 B	80.89	71.99
	50	21.66 A	4.00 A	2.47 A	2.36 A	30.49 A	101.62	88.41
	100	19.96 AB	3.31 AB	2.27 A	2.67 A	28.20 AB	93.99	76.13
	200	18.85 AB	3.14 AB	1.68 B	2.14 A	25.80 AB	85.99	73.95
Significancia de la interacción		+	*	**	NS	*		

Nota: medias seguidas de igual letra, no difieren significativamente dentro de cada densidad; +: P<0.10; *: P<0.05; **: P<0.01; NS: No Significativo.

Del cuadro anterior surgen los siguientes comentarios:

Densidad de 2500 pl./ha:

- No hubo efecto significativo de los distintos tratamientos tanto en el PS de los diferentes componentes de la biomasa aérea como en el PS tot/ár. Esto también se cumple al calcular PS tot/ha.
- No obstante lo anterior, en todos los componentes de rendimiento, el máximo valor de PS se registró con el mayor agregado de fertilizante, el tratamiento de 200g urea/pl. Esto también se cumple al calcular PS tot/ha.

Densidad de 3333 pl./ha:

- Hubo diferencia significativa entre las distintas dosis de N, para los componentes de la biomasa aérea.
- Para cada componente de la biomasa aérea los promedios y los valores máximos de PS fueron menores a los promedios y los máximos registrados en la plantación de 2500 pl./ha; esto se cumple también para el PS total de biomasa aérea por individuo, (suma de los distintos componentes).
- Estadísticamente, los máximos PS alcanzados en esta población para cada uno de los componentes de la biomasa aérea, son iguales a los valores logrados en la plantación de 2500 pl./ha, con cualquiera de los tratamientos de nitrógeno; esto se cumple también para el PS total de biomasa aérea por individuo.
- Los valores más elevados de PS de los componentes se registraron con la dosis de 50g urea/pl. (excepto para hojas, donde el mayor peso seco fue con 100g urea/pl.).

⁵ Resultados corregidos según sobrevivencia de cada densidad, para los distintos tratamientos. (Ver cuadro con los valores de sobrevivencia en el apéndice).

de 2500 pl./ha, con cualquiera de los tratamientos de nitrógeno; esto se cumple también para el PS total de biomasa aérea por individuo.

- Los valores más elevados de PS de los componentes se registraron con la dosis de 50g urea/pl. (excepto para hojas, donde el mayor peso seco fue con 100g urea/pl.).
- Las diferencias entre el tratamiento testigo y 50g urea/pl. fueron significativas (excepto para hojas), encontrándose un aumento por fertilización de 23, 35 y 36% sobre el testigo, para tallo, corteza y rama, respectivamente.
- Considerando el PS total individual de biomasa aérea, con la dosis de 50g urea/pl. hubo un aumento de 6.22 Kg./pl. lo que representó 26% de rendimiento sobre el testigo.
- Para la hectárea, la superioridad (con esa misma dosis) correspondió a 20.73 t/ha, (y 16.42 t/ha en el valor corregido según sobrevivencia).

Los resultados obtenidos concuerdan con la información obtenida en la revisión bibliográfica. Ladeira et al (2001), evaluaron la producción y distribución de biomasa de tres especies (*Eucalyptus camaldulensis*, *E. urophylla* y *E. pellita*), en una secuencia de edad y encontraron que a medida que hubo incremento de la densidad poblacional, la producción total de materia seca (biomasa) por planta disminuyó, en cambio, la producción por unidad de superficie aumentó. En 1977, Couto et al encontraron que el volumen medio por hectárea de *E. urophylla* fue menor con los espaciamientos más amplios, para todas las edades, (citado por Assis et al, 1999). Por su parte, Vital y Della Lucía (1987) encontraron que hasta la edad de 57 meses, el principal factor que influenció la producción por unidad de superficie de *E. grandis* y *E. urophylla* fue el número de árboles por hectárea, en donde el uso de densidades poblacionales altas incrementó el volumen total de biomasa, (citados por Assis et al, 1999). A su vez, estos autores muestran valores de una población de *E. urophylla* de 37 meses de edad pero con una densidad de 1666 pl./ha, donde los componentes de la biomasa aérea y el PS total de los árboles, son similares a los máximos pesos secos obtenidos en el ensayo con *E. dunnii*, ya sea con 2500 o 3333 pl./ha.

Los datos de peso seco del cuadro anterior evidencian la posible relación cuadrática entre el nitrógeno agregado y la respuesta como peso seco de los componentes. A continuación se muestran los resultados obtenidos en la búsqueda de esa relación.

Cuadro N° 15: Tendencias de PS en función del agregado de nitrógeno y significancia de la tendencia. Modelos ajustados y dosis de urea que habrían maximizado el PS.

	Densidad	Tallo	Corteza	Ramas	Hojas	Total
Tendencia	2500 pl./ha	--	Cuadrática	--	--	--
Significancia de la tendencia			**			
Tendencia	3333 pl./ha	Cuadrática	Cuadrática	Cuadrática	Cuadrática	Cuadrática
Significancia de la tendencia		*	*	**	*	**

Densidad	Componente	Modelo	R ²	X _{máx./mín.} (g)
2500 pl./ha	Corteza	$y = 4.08145 - 0.0299 x + 0.00001909 x^2$	0.97	X _{mín.} = 782.72
3333 pl./ha	Tallo	$y = 18.198 + 0.05398 x - 0.000258 x^2$	0.61	X _{máx.} = 104.61
	Corteza	$y = 3.14373 + 0.01058 x - 0.00005445 x^2$	0.40	X _{máx.} = 97.15
	Ramas	$y = 1.87518 + 0.01159 x - 0.00006336 x^2$	0.88	X _{máx.} = 91.46
	Hojas	$y = 1.080745 + 0.01507 x - 0.00006691 x^2$	0.99	X _{máx.} = 112.61
	Total/árbol	$y = 25.02573 + 0.0911 x - 0.00044245 x^2$	0.69	X _{máx.} = 102.96
	Total/ha	$y = 83.408 + 0.3037 x - 0.0015 x^2$	0.69	X _{máx.} = 101.23
	Total/ha (corr.)	$y = 0.3469 + 0.1519 x - 0.0008 x^2$	0.35	X _{máx.} = 94.94

Nota: y = Peso seco; X = dosis de urea; X_{mín./máx.} = dosis de urea que minimizaría/maximizaría la ecuación. *: P<0.05; **: P<0.01.

En la población de 2500 pl./ha solo se encontró respuesta con tendencia cuadrática para el componente corteza. Esta tendencia corresponde a una curva de concavidad positiva. Este modelo no es deseable para el presente experimento.

En la población de 3333 pl./ha, todos los componentes mostraron ajuste cuadrático significativo en el PS, como respuesta al agregado de N; lo mismo ocurrió con el PS total. A partir de los modelos se calculó la dosis de urea que habría maximizado la producción de PS de cada componente y del total.

En todos los casos, los resultados basados en el ajuste estadístico indican que la aplicación de 100g de urea/pl. habría sido la dosis más próxima a la dosis óptima. Sin embargo, los datos reales obtenidos de los árboles muestreados y los posteriores cálculos de PS obtenidos (cuadro N° 8), no se ajustan a los modelos encontrados, excepto en el caso de hojas; solo en este componente el máximo PS se alcanzó con la aplicación de 100g urea/pl. Conviene destacar que el ajuste de los modelos se realizó con valores puntuales y fueron solamente 4, porque se utilizaron los promedios para cada tratamiento. Por lo tanto, es más correcto basarse en el ajuste estadístico para el cálculo de la dosis, más que en los resultados experimentales.

Los datos del cuadro N° 14, fueron expresados en forma gráfica y se muestran a continuación.

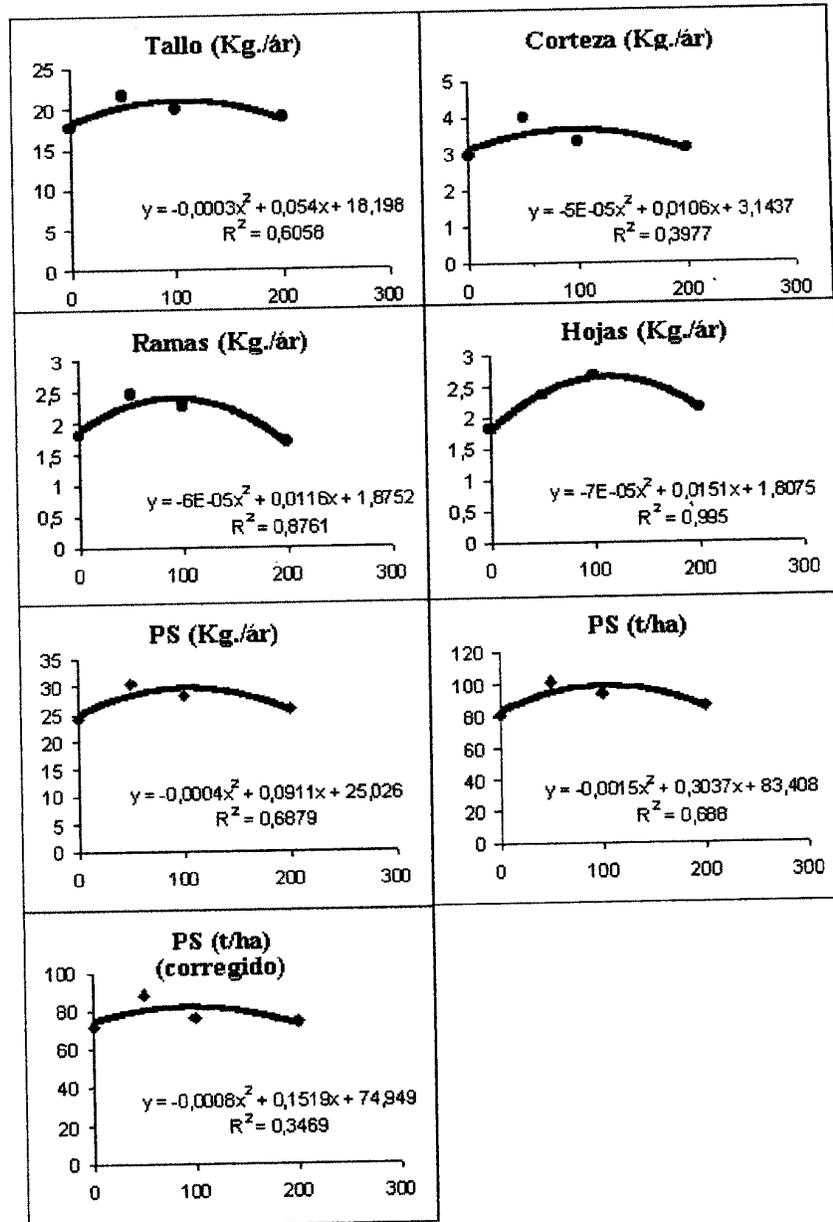


Figura 12: Efecto de los distintos tratamientos en los PS de la plantación de 3333 pl/ha. Modelo ajustado y la correspondiente curva para cada componente de la biomasa aérea, para el PS total por individuo y para la hectárea (t/ha totales y corregidos por sobrevivencia). Valores promedio de tres repeticiones.

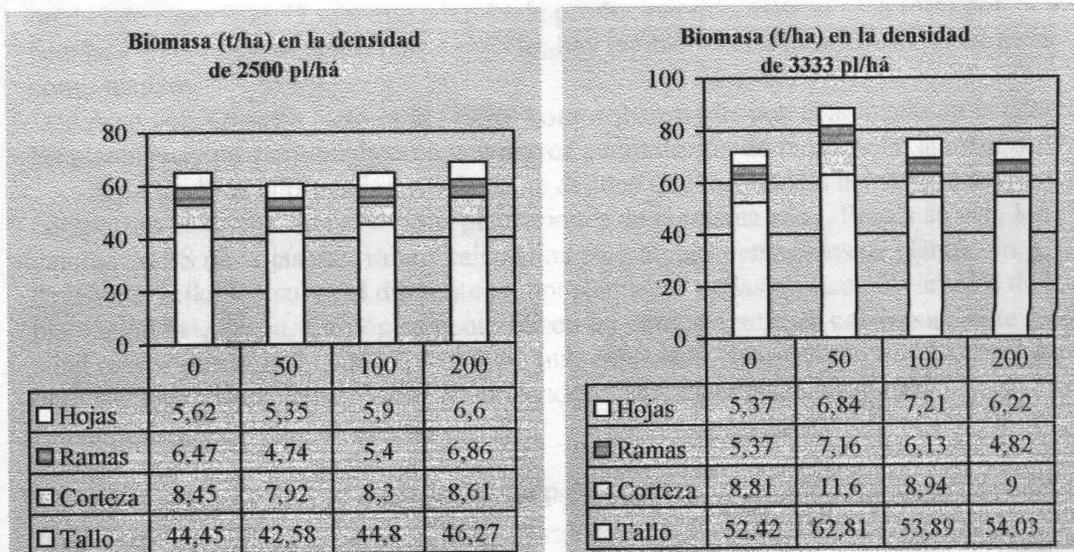


Figura 13: Biomasa aérea de los distintos componentes. Influencia de los diferentes tratamientos de fertilización en las dos densidades poblacionales en estudio.
 Datos para la hectárea, corregidos según sobrevivencia. Valores promedio de tres repeticiones.

Los gráficos anteriores confirman lo mencionado por Godinho et al (1996). Estos autores concluyeron que la producción de materia seca de los distintos componentes de *Eucalyptus camaldulensis*, no fue significativamente afectada por los distintos tratamientos de fertilización, tanto a los 13 como a los 37 meses de edad. En el experimento con *Eucalyptus dunnii*, los datos confirmaron que la fertilización no alteró la distribución de biomasa entre los componentes aéreos.

Leite et al (1998), evaluaron la acumulación de nutrientes en diferentes densidades poblacionales de *E. grandis*, de 31 meses de edad. Coincidentemente, muestran los valores de PS de los componentes de la biomasa aérea para una población de 2500 pl/ha; los mismos son muy similares a los calculados para *E. dunnii* en el presente experimento.

Otras observaciones que se pueden extraer de estos cuadros:

En la población de 2500 pl/ha, en promedio la biomasa de hojas más ramas correspondió al 18% de la biomasa aérea total. En la población de 3333 pl/ha, con los tratamientos de 0 y 50g urea/pl. la biomasa de hojas más ramas correspondió a 15 y 16% de la biomasa aérea total, respectivamente.

Godinho et al (1996) indican que en la población de *E. camaldulensis* de 13 meses de edad, el 45% de la biomasa aérea se distribuía entre hojas y ramas. En cambio, cuando los árboles tenían 37 meses, esta proporción pasó a ser 16%, siguiendo la misma tendencia en todos los tratamientos de fertilización.

Radosevich et al, 1987 (citados por Ladeira et al, 2001) indican que la reducción del espaciamiento favoreció el aumento en la producción de materia seca del tronco, por

unidad de superficie. O sea, que además de producirse más materia seca total por hectárea en el espaciamiento más reducido, hay también más acumulación de biomasa como madera.

A su vez, Oliveira Neto et al (1996) comprobaron que con el aumento en la edad de las plantas hay proporcionalmente una mayor acumulación de biomasa en la madera.

A partir de la información recabada se deduce que los árboles del ensayo se comportan de forma similar a otras plantaciones de la misma edad. Pero a su vez, los valores de PS de hojas más ramas calculados para ambas densidades de plantación, llevan a la reflexión sobre el diferente comportamiento de las mismas; los árboles de la plantación más densa, fisiológicamente tienen un comportamiento correspondiente a una edad mayor que aquellos de la plantación más espaciada, acumulando más biomasa en tallo y ramas, consecuentemente, acumulando menos biomasa en el aparato fotosintético.

Se desea comparar el rendimiento en PS de los árboles, en los momentos de inicio y fin del ensayo. Para hacerlo se utilizará el valor de **PS de tallo más corteza** (debido a que no se cuenta con el PS tot/ár de los AMPi).

Cuadro N° 17: Incremento de rendimiento comparando PS de tallo más corteza entre el momento inicial y final. Valores de árboles individuales (Kg/ár) y por unidad de superficie (t/ha). Valores promedio de tres repeticiones.

Dens.	Tratam.	PS AMPi (Kg/ár)	PS AMPf (tallo+cort) (Kg/ár)	Incremento absoluto de PS (t+c) (Kg/ár)	PS AMPi (t/ha)	PS AMPf (tallo+cort) (t/ha)	Incremento absoluto de PS (t+c) (t/ha)	Incremento relativo de PS (%)
2500	0	22.46	25.49	3.03	56.15	63.73	7.58	13.5
	50		25.57	3.11		63.93	7.78	13.8
	100		25.28	2.82		63.20	7.05	12.6
	200		27.10	4.64		67.75	11.60	20.7
3333	0	17.98	20.64	2.66	59.93	68.79	8.86	14.8
	50		25.66	7.68		85.52	25.59	42.7
	100		23.27	5.29		77.56	17.63	29.4
	200		21.99	4.01		73.29	13.36	22.3

En el cuadro anterior se evidencia que:

Existió incremento en el **PS de tallo más corteza**, en el período de ocho meses que transcurrió entre ambas mediciones.

En la plantación de 2500 pl./ha el mayor incremento en el PS de tallo más corteza se observó con el tratamiento de 200g urea/pl, (valor en azul). El menor incremento en PS fue con el tratamiento de 100g urea/pl (valores en rojo).

Respecto al incremento (de tallo más corteza) por unidad de superficie, el máximo alcanzado es 20.7%.

En la plantación de 3333 pl./ha se verifica el máximo incremento en PS de tallo más corteza con el tratamiento de 50g urea/pl. (valores en azul), seguido del tratamiento de 100g urea/pl. El mínimo incremento de esta población, se constató cuando no se aplicó urea (valores en rojo); sin embargo, el PS de tallo más corteza registrado con este tratamiento fue superior al PS máximo (de tallo más corteza) registrado en la población de 2500 pl./ha, (68.79 vs. 67.75).

Respecto al incremento por unidad de superficie, el máximo alcanzado fue casi 18 t/ha superior al máximo logrado con la plantación menos densa; los datos indican que con el tratamiento de 50g de urea/pl. en la densidad de 3333 pl./ha el incremento de PS de tallo más corteza fue más del doble que el incremento registrado en la densidad de 2500 pl./ha, con el tratamiento de 200g de urea/pl.

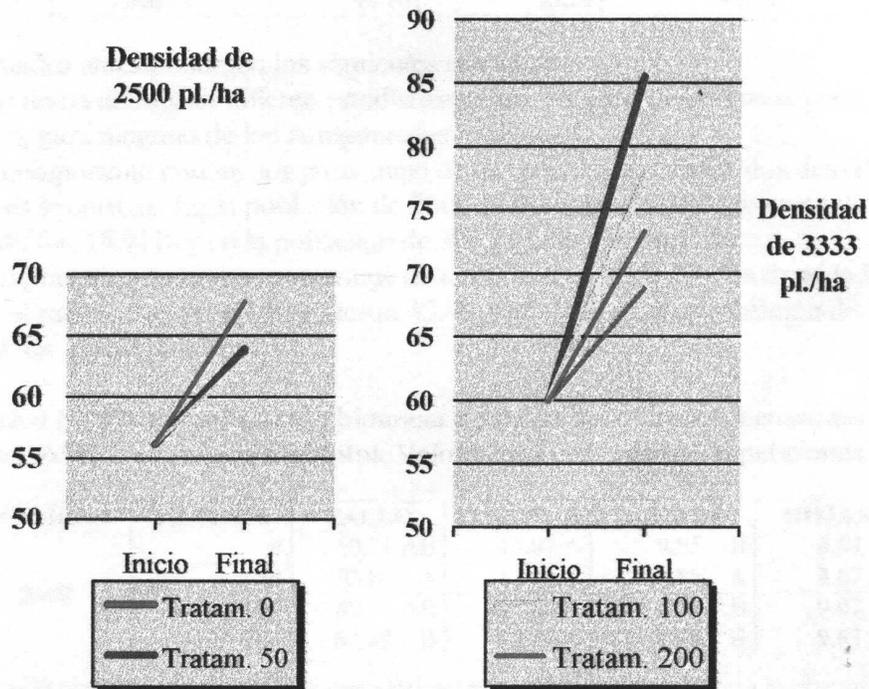


Figura 14: Efecto de los diferentes tratamientos de fertilización en el PS de tallo más corteza (t/ha). Valores promedio de tres repeticiones.

En las gráficas anteriores se visualiza claramente el efecto de los distintos tratamientos en ambas densidades de población. También se evidencia que en la densidad de 3333 pl./ha, a pesar de que los árboles tienen menor peso individual, el rendimiento por unidad de superficie es mayor a los alcanzados en la densidad de 2500 pl./ha, con cualquiera de los tratamientos.

MATERIA SECA

Cuadro N° 18: Porcentaje de MS (en base verde) de los diferentes componentes de los AMPL. Valores promedio de tres repeticiones.

Densidad	Tratamiento	Tallo	Corteza	Ramas	Hojas
2500	0	45.06	38.09	46.39	42.42
	50	43.36	36.47	43.95	42.18
	100	44.39	36.99	45.76	42.95
	200	43.00	36.07	45.48	40.80
3333	0	42.95	34.12	45.48	41.28
	50	43.96	36.02	46.15	41.33
	100	43.70	33.75	45.13	41.33
	200	44.16	35.24	46.04	41.96

Del cuadro anterior surgen los siguientes comentarios:

- Los datos de MS no difieren estadísticamente, entre tratamientos ni entre ambas poblaciones, para ninguno de los componentes evaluados.
- El componente con menor porcentaje de materia seca, para las dos densidades de población es la corteza. En la población de 2500 pl/ha el promedio que presentó este componente fue 36.91% y en la población de 3333 pl/ha, fue 34.78%.

El componente con mayor porcentaje de materia seca, para las dos densidades de población es ramas. Los promedios fueron 45.40 y 45.70% para la población de 2500 y de 3333 pl/ha, respectivamente.

Cuadro N° 19: Porcentaje de biomasa aérea en los diferentes componentes de los AMPL, en relación al total. Valores promedio de tres repeticiones.

DENSIDAD	TRATAM.	TALLO	CORTEZA	RAMAS	HOJAS
2500	0	69.31 AB	13.07 A	9.95 B	8.67 A
	50	70.40 A	13.08 A	7.85 A	8.67 A
	100	69.64 AB	12.89 A	8.41 AB	9.07 A
	200	67.79 B	12.64 A	9.94 B	9.63 A
3333	0	72.86 A	12.21 A	7.445 A	7.49 A
	50	71.12 A	13.19 A	8.022 A	7.67 A
	100	70.92 A	11.75 A	7.971 A	9.37 A
	200	73.09 A	12.20 A	6.530 A	8.18 A

Nota: medias seguidas de igual letra, no difieren significativamente dentro de cada densidad

Evaluando la proporción de MS que aporta cada componente al total de MS de un árbol, a partir del cuadro anterior se extraen los siguientes comentarios:

- Los componentes corteza y hoja, en promedio, no mostraron diferencias estadísticamente significativa, tanto entre ambas densidades como entre tratamientos, (por lo cual, tampoco se ven diferencias en el efecto interacción Dens x Trat).

- En los componentes tallo y ramas se observaron diferencias estadísticamente significativas. En el caso de tallo, los valores mayores correspondieron a la densidad de 3333 pl./ha, mientras que en ramas la superioridad correspondió a la población menos densa. Esta alternancia es lógica dado que para este parámetro (% MS en base seca) la suma del aporte de todos los componentes corresponde al 100%.
 - Respecto al aporte de los componentes al total, se constató el siguiente orden: tallo > corteza > ramas = hojas.
 - En la población de 2500 pl/ha el máximo valor de % MS de tallo se alcanzó con el tratamiento de 50g urea/pl., mientras que el mínimo resultó del tratamiento con mayor agregado de fertilizante (200g urea/pl.).
 - En la población de 3333 pl/ha, el máximo valor de % MS de tallo se alcanzó con el mayor agregado de fertilizante, mientras que el mínimo resultó con el tratamiento de 100g urea/pl.

Una vez más los datos concuerdan con lo mencionado por Radosevich et al, 1987 (citados por Ladeira et al, 2001), quienes indican que la reducción del espaciamiento favorece el aumento en la producción de materia seca del tronco, por unidad de superficie. A su vez, se confirma lo mencionado por Godinho et al (1996) quienes concluyeron que la producción de materia seca de los distintos componentes de *Eucalyptus camaldulensis*, no fue significativamente afectada por los distintos tratamientos de fertilización.

4.3 RESULTADO DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS

Los análisis químicos de los componentes de la biomasa aérea se realizaron para muestras compuestas, según se explicó en MATERIALES Y MÉTODOS.

Cuadro N° 20: Porcentaje de nitrógeno en relación al peso seco aéreo de los árboles. Datos para cada componente y para la biomasa aérea total de árboles individuales. Valores promedio de los árboles de cada parcela y de dos repeticiones.

Componente	Tratam. 0	Tratam. 200
Tallo	0.07	0.23
Corteza	0.28	0.33
Ramas	0.27	0.28
Hojas	1.53	1.87
Total	0.25	0.41

Los valores obtenidos expresan claramente la diferencia entre los dos tratamientos, dejando en claro que la principal limitante no fue la absorción de nitrógeno. Se destaca el elevado contenido de nitrógeno de los árboles fertilizados respecto a los que no recibieron fertilizante. El mayor contenido de N corresponde fundamentalmente al mayor porcentaje de nutriente alojado en los tallos de los árboles fertilizados; en éstos el contenido de N fue más de tres veces superior al que tenían los tallos de los árboles testigo.

Leite et al (1998), para una plantación de *Eucalyptus grandis* de 31 meses de edad, de 2500 pl./ha y sin aplicación de fertilizante indica porcentajes muy similares a los registrados con el testigo del presente experimento, con *E. dunnii*; los valores corresponden a 0.07, 0.33, 0.32 y 1.64% para tallo, corteza, ramas y hojas, respectivamente.

En la densidad de 2500 pl./ha, las variables DAP y H no reflejaron la absorción diferencial de N entre los tratamientos extremos, (pero no fueron analizados separadamente para cada densidad).

En el caso de PS de la biomasa aérea, a pesar de que en esta densidad de plantación los resultados fueron estadísticamente iguales para los diferentes tratamientos, los máximos PS (de cada componente, por árbol y para la hectárea) se registraron con el agregado de 200g urea/pl.

Cuadro N° 21: Contenido promedio de nitrógeno en los distintos componentes de la biomasa aérea, para dos tratamientos de fertilización. Datos para árboles individuales y para la hectárea. Valores promedio de los árboles de cada parcela y de dos repeticiones.

	Componente	Trat. 0	Trat. 200	Significancia
N (g /ár)	Tallo	15.77	51.68	NS
	Corteza	11.50	13.97	NS
	Ramas	8.46	9.50	NS
	Hojas	41.50	60.86	+
	TOTAL	77.45	136.50	+
N (Kg /ha)	Tallo	39.43	129.20	NS
	Corteza	29.00	34.93	NS
	Ramas	20.00	24.00	NS
	Hojas	103.75	152.50	+
	TOTAL	193.00	341.28	+
N (Kg /ha) ⁶	Tallo	32.23	104.63	*
	Corteza	24.00	28.35	NS
	Ramas	16.49	19.73	**
	Hojas	84.09	125.81	NS
	TOTAL	156.33	278.51	**

Nota: +: P<0.10; *: P<0.05; **: P<0.01; NS: No Significativo.

Ver cálculos en el apéndice.

Del cuadro anterior surgen los siguientes comentarios:

Con 0g urea/pl.:

El componente con menor contenido de N es ramas, seguido por escaso margen por la corteza.

El contenido de N en tallo es intermedio pero es más cercano al mínimo valor que al máximo.

El componente con mayor contenido de N es hojas. En este componente, en promedio, se encuentra casi el 54% del total de N en las plantas sin fertilizar.

Con 200g urca/pl.:

El ranking de los componentes según contenido de N no se vio modificado.

Se destaca el gran incremento del contenido de N fundamentalmente en tallo; en este caso se halló 3.3 veces más N que en los tallos de los árboles que no habían recibido fertilizante.

También en hojas se constató superioridad en el contenido de N, superándose una vez y media el valor de los árboles sin fertilizar.

El contenido de N en corteza y ramas prácticamente no difiere del de los árboles que no fueron fertilizados.

Respecto al contenido total de N (suma del N de los componentes), en promedio los árboles fertilizados tienen casi el doble (1.8 veces más) de N que los árboles sin fertilizar.

⁶ Resultados corregidos por sobrevivencia de la población, para cada tratamiento.

La siguiente figura expresa en forma gráfica los valores del cuadro anterior.

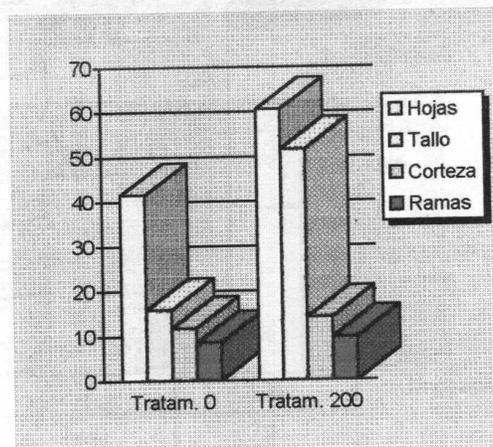


Figura 15: Contenido promedio de nitrógeno (g/ár) en los distintos componentes de la biomasa aérea, para dos tratamientos de fertilización nitrogenada. Datos para árboles individuales. Valores promedio de los árboles de cada parcela y de dos repeticiones.

Según Cromer et al (1982) las hojas de *E. g. ssp. globulus* contienen una concentración de nitrógeno significativamente más elevada respecto a la que presentan los demás componentes de la biomasa aérea. Esto se puede observar claramente en la figura anterior; en la misma se destaca que esa superioridad del contenido foliar de N es mayor en los árboles que no recibieron fertilizante.

A partir del cuadro anterior es posible calcular el contenido porcentual de nitrógeno en los distintos componentes de la biomasa aérea, como promedio de los árboles analizados. Los valores se muestran en el siguiente cuadro con su correspondiente gráfica.

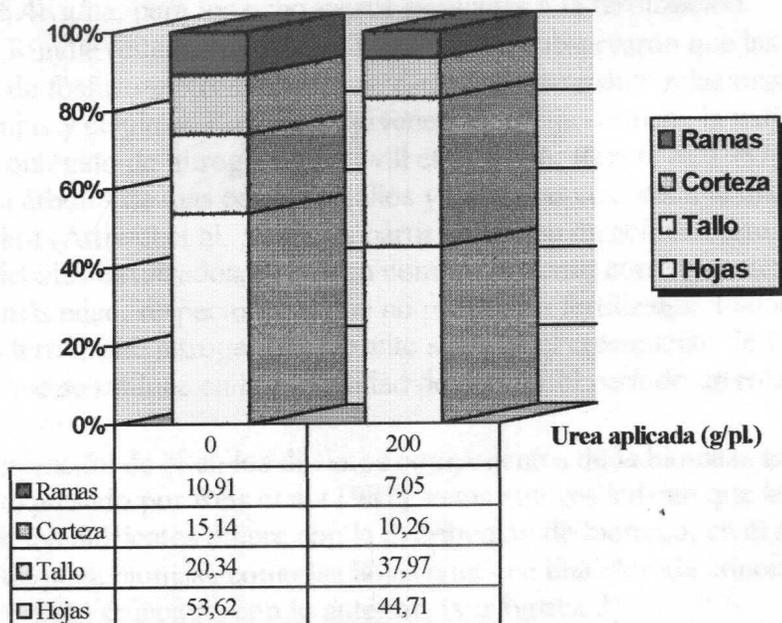


Figura 16: Porcentaje de nitrógeno en los distintos componentes de la biomasa aérea, en relación al contenido total. Datos para árboles individuales. Valores promedio de los árboles de cada parcela y de dos repeticiones.

Del cuadro y gráfico anterior surgen los siguientes comentarios:

- A pesar de lo observado en el cuadro N° 21, que con la dosis más alta de fertilizante fue incrementado el nivel de nitrógeno en los componentes de la biomasa aérea, la figura anterior muestra claramente que esos mayores niveles no significan incremento porcentual del contenido de nitrógeno en todos los componentes.

- Según Reis et al 1985 (citados por Reis et al 1987), la acumulación de nutrientes de *E. grandis* reflejó el patrón de acumulación de biomasa, hasta aproximadamente los 36 meses de edad. Esto concuerda con el comportamiento de la plantación en estudio, en donde la mayor acumulación de N ocurrió en aquellos árboles que habían tenido mayor producción de biomasa (ver cuadro N° 10), los del tratamiento de 200g de urea/pl (en la población de 2500 pl./ha).

- A su vez, se observa mayor acumulación en el tallo de los árboles, que es el componente con mayor proporción de la biomasa aérea. Solo en este componente se registró un incremento porcentual de nitrógeno, de los árboles fertilizados respecto a los que no recibieron fertilizante.

- En todos los demás componentes de la biomasa aérea, los árboles que recibieron 200g de urea mostraron porcentajes menores de nitrógeno respecto a los árboles que no fueron fertilizados.

- En el presente experimento con *E. dunnii* se constató que la acumulación individual (por diferencia de contenido de N entre el tratamiento 0 y 200) fue de

58.6g/árbol. El valor estimado para la hectárea (por diferencia entre ambos tratamientos extremos) es 146.4Kg/ha, para los ocho meses siguientes a la fertilización.

- Specht y Rundle (citados por Attiwill et al, 1996) observaron que las concentraciones de fósforo y otros nutrientes, están negativamente relacionados al contenido de lignina y celulosa. En árboles jóvenes, el follaje contiene la mayor proporción del contenido de nitrógeno (Attiwill et al, 1996; Reis et al, 1987) y fósforo de la parte aérea; en árboles de más edad, los tallos y las ramas contienen la mayoría de los nutrientes del árbol (Attiwill et al, 1996). A partir de lo que mencionan estos autores, se deduce que los árboles fertilizados, tienen un comportamiento correspondiente al de plantaciones de más edad, respecto a los que no recibieron fertilizante. Eso significa que la aplicación del fertilizante nitrogenado permite acelerar el crecimiento de las plantaciones, lo que se traduce en la posibilidad de acortar el período de rotación de las mismas.

- La concentración de N en los distintos componentes de la biomasa aérea, coincide con lo expresado por Reis et al (1987); estos autores indican que la concentración de los nutrientes difiere con la distribución de biomasa, en el sentido que un componente de poca biomasa como las hojas contiene una elevada concentración de N. Attiwill et al (1996) coinciden con lo anterior, (ver figura 3).

- La disponibilidad de humedad es crítica para las respuestas, (Herbert et al, 1990). Por lo tanto, se asume que si se hubieran registrado más precipitaciones en los días siguientes a la fertilización, la respuesta al agregado de nitrógeno habría sido mayor.

4.4 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL FERTILIZANTE.

A partir del contenido promedio de nitrógeno que se obtuvo mediante el análisis químico de los árboles, es posible calcular la eficiencia de utilización aparente del fertilizante. Para realizar este cálculo se hacen una serie de supuestos.

En primer lugar, se asume que el contenido de N de los árboles que no fueron fertilizados, proviene exclusivamente del aporte del suelo. Este valor corresponde a 77.55g de N/árbol.

En segundo lugar, se asume que el contenido total de N (136.11g) de los árboles que recibieron fertilización nitrogenada (200g de urea) corresponde a dos fuentes, al aporte del suelo (77.55g, igual que los árboles sin fertilizar) y al aporte de la urea, "x".

Por diferencia, el aporte de la urea es, en este caso, 58.56g de N/árbol. Mediante un simple cálculo que se muestra a continuación, se obtiene que en esta población y para este tratamiento (200g urea/pl.), la eficiencia de utilización del nitrógeno es, en promedio, **63.65%**.

Según Hauck (1984), este índice generalmente se determina en el momento de madurez fisiológica y su valor oscila entre 50 y 70 %. No obstante, Godinho et al (1996) registraron una eficiencia de utilización del 95%; en ese caso el fertilizante fue aplicado en la línea de plantación, en plantas de *E. camaldulensis* de 37 meses de edad, con una densidad de plantación de 1666 pl./ha. La evaluación se realizó a los 41 meses de edad.

$$\text{Eficiencia de utilización} = (\text{N planta fertilizada} - \text{N planta testigo}) / \text{N agregado}$$

5 CONCLUSIONES

- Los valores de DAP y H registrados en la población en estudio confirmaron la gran velocidad de crecimiento que se le atribuye a la especie *E. dunnii*, creciendo en condiciones favorables.
- En ninguna densidad se registró diferencia significativa de DAP y H entre los distintos tratamientos. (En el momento inicial, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el DAP, pero éstas se debieron al efecto de las distintas densidades de plantación.)
- La plantación de 3333 pl./ha tuvo mayor incremento de DAP y H en el período en estudio
- El tratamiento que mostró mayor incremento de las variables respecto a la media general inicial fue el de 50g de urea/pl.
- Las variables DAP y H, no reflejaron las diferencias de PS encontradas en la densidad de 3333 pl./ha ni la absorción diferencial de N entre los tratamientos 0 y 200g urea/pl. (en la densidad de 2500 pl./ha), debidas a los diferentes tratamientos de fertilización.
- Con 3333 pl./ha y 50g urea/pl. se logró la mayor producción de biomasa por unidad de superficie; a su vez, se obtuvo más biomasa como madera. Estadísticamente, los valores de PS alcanzados con esa dosis fueron iguales a los de la densidad de 2500 pl./ha.
- Se encontró ajuste cuadrático significativo para la respuesta de PS en función del agregado de urea, en la densidad de 3333 pl./ha. La dosis que maximizaría la producción de biomasa, es 100g de urea/pl.
- Respecto a los análisis químicos, en ambos tratamientos evaluados el contenido de N en los componentes de la biomasa aérea siguió el siguiente orden: hojas>tallo>corteza > ramas.
- Solo en el tallo se observó incremento porcentual de nitrógeno al comparar los árboles fertilizados respecto a los testigos.
- El contenido de N como porcentaje del peso seco, fue casi el doble en los árboles fertilizados respecto a los que no recibieron fertilizante
- Respecto a la eficiencia de utilización del fertilizante, el valor obtenido en el ensayo fue 64%. Este dato permite afirmar que a pesar de la condición de sequía seguida a la fertilización, el nitrógeno aplicado fue absorbido por los árboles (en la población de 2500 pl./ha).

6 RESUMEN

Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la fertilización con nitrógeno sobre la producción de biomasa de *Eucalyptus dunnii*. La aplicación del fertilizante se hizo a los 34 meses de edad de la plantación y se evaluó el efecto 8 meses después.

La mayor producción de biomasa se alcanzó con 3333 pl./ha y con la aplicación de 50g urea/pl. Con la densidad y el tratamiento mencionados, se alcanzó la producción de 101.62 t/ha de biomasa de *E. dunnii*, a los 42 meses de edad.

Los valores individuales (por árbol) de producción de biomasa aérea, fueron menores en la plantación más densa, pero al comparar los valores por unidad de superficie, la mayor producción de biomasa aérea se logra con la densidad de 3333 pl./ha.

Con 2500 pl./ha, no se observaron diferencias significativas en la producción de biomasa aérea, en función de los diferentes tratamientos de fertilización. No obstante, en esta densidad poblacional se constató una tendencia de que a mayor dosis de nitrógeno aplicado, hubo mayor producción de biomasa. El máximo valor alcanzado en esta densidad fue de 84.38 t/ha.

Respecto al contenido de nitrógeno en los componentes de la biomasa aérea, en ambos tratamientos evaluados se constató el siguiente orden: hojas > tallo > corteza ~ ramas. El contenido porcentual de nitrógeno incrementó solo en el tallo, al comparar los árboles fertilizados respecto a los que no recibieron fertilizante. Solo el contenido de N en hojas y el contenido total mostraron diferencia estadísticamente significativa entre ambos tratamientos evaluados, tanto para árboles individuales como para la hectárea.

Fueron ajustados modelos matemáticos para el PS de los componentes de la biomasa aérea, en función del agregado de N. Se encontró relación cuadrática en todos los componentes de la densidad de 3333pl./ha, así como en el PS total individual y por unidad de superficie. Según los modelos, con 100g de urea/pl. se habría maximizado la producción de biomasa, pero solo en hojas se obtuvo el máximo PS con esta dosis. El PS de todos los demás componentes y el PS total fueron máximos con el agregado de 50g de urea/pl.

7 SUMMARY

This work was carried out with the aim to evaluate the nitrogen fertilization effect on *Eucalyptus dunnii* biomass production. Fertilizing was carried out when the plantation was 34 months old and the effect was evaluated 8 months later.

Mayor biomass production was reached with 3333 trees/ha and with 50g urea/tree. With those density and treatment, biomass production of *E. dunnii* reached 101.62 t/ha, at 42 months old.

Individual production (per tree) of above ground biomass was lesser with the denser plantation, but when compared results per area, the mayor above ground biomass was obtained with 3333 tress/ha.

With the density of 2500 tress/ha there weren't significant differences in above ground biomass production, as a function of the different fertilization treatments. Nevertheless, with this density it was observed a tendency that with larger dose of added nitrogen, there was mayor biomass production. The maximum reached with this density was 84.38 t/ha.

With regard to nitrogen content in above ground biomass components, in both evaluated treatments it was observed the following order: leaves > stem > bark ~ branches. Nitrogen percentage content only increased in stems, when compared fertilized tress with unfertilized ones. Only foliar nitrogen and total nitrogen content showed difference statistically significant between both evaluated treatments, for individual trees and so for the hectare.

Mathematics models were adjusted for the dry weight (DW) of above ground biomass components, as a function of added nitrogen. It was found quadratic relationship in every component of 3333 trees/ha, also for total individual DW and for the production per area. According to the models, with 100g urea/tree biomass production should had been maximum, but only in leaves was obtained the maximum DW with this dose. The DW for all the other components and total DW were maximum with the addition of 50g urea/tree.

8 BIBLIOGRAFIA

- 1- ASSIS, R.L.; FERREIRA, M.M.; MORAIS, E.J.; FERNÁNDES, L.A. 1999 Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sobre diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. *Revista Árvore* 23 (2): 151-156
- 2- ATTIWILL, P.M. 1979. Nutrient cycling in a *Eucalyptus obliqua* (L'Hérit.) forest III. Growth, biomass and net primary production. *Austr.J.Bot.* 27: 439-58
- 3- ATTIWILL, P.M. 1980. Nutrient Cycling in a *Eucalyptus obliqua* (L'Hérit.) forest IV. Nutrient uptake and nutrient return. *Austr.J.Bot.* 28: 199-222
- 4- ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. 1996. Nutrition of Eucalypts. Australia, CSIRO 440p.
- 5- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. 1990 Relación suelo-eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa. 329p
- 6- BELLOTE, A.F.J.; DA SILVA, H.D. 1999. Nutrición y crecimiento de plantaciones de *Eucalyptus* In Simposio de fertilización forestal. Piracicaba, San Pablo. IPEF pp.
- 7- BREMNER, J.M.; TABATABAI, M.A. 1971. Use of automated combustion techniques for total carbon, total nitrogen and total sulphur analysis of soils In *Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue*. L.M. Welsh, ed. Madison, Wisconsin, SSSA. pp. 1-15
- 8- CROMER, R.N.; CAMERON, D.M.; RANCE, S.J.; RYAN, P.A.; BROWN, M. 1993. Response to nutrients in *Eucalyptus grandis*: I Biomass Accumulation. *For. Ecol. and Management*, 62: 231-243
- 9- CROMER, R.N.; WILLIAMS, E.R. 1982. Biomass and nutrient accumulation in a planted *Eucalyptus globulus* (Labill) fertilizer trial. *Austr.J.Bot.* 30 (3): 265-278
- 10- CURBELO CAMEJO, C.E. 1989. Respuesta de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex maiden y *Eucalyptus globulus ssp. globulus* (Kirkp) a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en suelos degradados de Canelones. Tesis Ingeniero Agrónomo. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 76p
- 11- DELGADO, J.; TOMÉ, M. 1996 Aboveground biomass allocation in young *Eucalyptus globulus* planted at different spacings. In Conferencia sobre Silvicultura e Melhoramento de eucaliptos. IUFRO. pp 23-27
- 12- DIGHTON, J.; JONES, H.E. 1991. The use of roots to test N, P and K deficiencies in *Eucalyptus* nutrition. In Symposium Intensive forestry: the role of Eucalypts. Durban, South Africa. IUFRO pp 33-38
- 13- DIGHTON, J.; JONES, H.E.; POSKITT, J.M. 1993 The use of nutrient bioassays to assess the response of *Eucalyptus grandis* to fertilizer applications. I. Interactions between nitrogen, phosphorus and potassium in seedling nutrition. *Can.J.For.Res* 23:1-6
- 14- GODINHO, V. de P.C.; BARROS, N.F. de; PEREIRA, P.R.G.; CANTARUTTI, R.B. 1996 Crescimento e recuperação de N e K por *Eucalyptus camaldulensis*, cultivado em solo arenoso de cerrado, em resposta ao modo de aplicação de adubo nitrogenado e potássico. In Conferencia sobre Silvicultura e Melhoramento de eucaliptos. IUFRO. pp 98-105
- 15- GONCALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G. 1999 Reflexos do cultivo mínimo e intensivo so solo em sua fertilidade e nutrição mineral das árvores. In Simposio de Fertilização e Nutrição Florestal. Piracicaba, San Pablo IPEF pp 1-14

- 16- HAUK, R.D. 1984 Nitrogen in crop production. Madison, Wisconsin. ASA. CSSA. SSSA. 804p
- 17- HERBERT, M.A. 1983 The response of *Eucalyptus grandis* to fertilising with nitrogen, phosphorus, potassium and dolomitic lime on a mispah soil series. South Afr. For. Jour. 124: 4-12
- 18- HERBERT, M.A.; SCHÖNAU, A.P.G. 1989. Fertilizing commercial forest species in southern Africa: Research progress and problems (part 1). South Afr. For. Journal 151: 58-70
- 19- HERBERT, M.A.; SCHÖNAU, A.P.G. 1990. Fertilizing commercial forest species in southern Africa: Research progress and problems (part 2). South Afr. For. Journal 152: 34-42
- 20- HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. 1984 Eucalypts for wood production. Sydney, Australia. Academic Press. 434p
- 21- ISAAC, R.A.; KERBER, J.D. 1971. Atomic absorption and flame photometry: Techniques and uses in soil, plant and water analysis. In Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue. L.M. Walsh, ed. Madison, Wisconsin, SSSA. pp. 17-37
- 22- JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS (10^a., 1995, Concordia) Entre Ríos, Rep. Argentina. INTA Concordia, ___ p
- 23- LADEIRA, B.C.; REIS, G.G. dos; REIS, M.Das G.F.; BARROS, N.F.de. 2001 Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos, em uma sequência de idade. Revista Árvore 25 (1): 69-78
- 24- LADEIRA, B.C.; REIS, G.G. dos; REIS, M.Das G.F.; SILVA, J.F. da. 1996 Biomassa de Eucalipto em sítios de baixa produtividade em Minas Gerais, Brasil In Conferencia sobre Silvicultura e Melhoramento de eucaliptos. IUFRO. pp 48-53
- 25- LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; FABRES, A.S. 1998 Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidades populacionais. R. Bras. Ci. Solo 22: 419-426
- 26- MELO, V.de F.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.de; FERREIRA, M.P.; COSTA, M.L.da. 1995 Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg em plantios de Eucalipto no Rio Grande do Sul In Trabalho de Pesquisa 48/49, Piracicaba. IPEF. pp 8-17
- 27- MILLER, H.G. 1981 Forest fertilization: some guiding concepts. Forestry 54 (2): 157-167
- 28- MUSTO, J.W. 1991. Impacts of plantation forestry on various soil types. In Annual research report. IUFRO. pp. 37-47
- 29- NOBLE, A.D.; HERBERT, M.A. 1990. Influence of soil matter content on the responsiveness of *Eucalyptus grandis* to nitrogen fertiliser. South Afr. For. Journal 156: 23-27
- 30- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.; BARROS, N.F. de; LEAL, P.G.; TEXEIRA, J.L. 1999. Importância da Fertilização em Florestas. In Simposio de Fertilização e Nutrição florestal. Piracicaba, San Pablo. IPEF pp__
- 31- OLIVEIRA NETO, S.N.de; REIS, G.G. dos; REIS, M.das G.F.; MORAIS, E.J.de. 1996 Alocação de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* em resposta a adubação e ao espaçamento. In Conferencia sobre Silvicultura e Melhoramento de eucaliptos. IUFRO. pp 28-31
- 32- PERDOMO, C; BARBAZAN, M. 1999. Nitrogênio. Montevideo. Facultad de Agronomía. 72p

- 33- PRINCIPI, H.L.; LOZA BALBUENA, G.I. 1998. Respuesta de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus globulus ssp. maidenii* a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en suelos de Durazno, Paysandú y Rivera. Tesis Ingeniero Agrónomo. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 78p
- 34- PRITCHETT, W.L. 1991. Suelos forestales; propiedades, conservación y mejoramiento. México, Limusa. 634 p
- 35- REIS, M. das G.F.; BARROS, N.F. de; KIMMINIS, J.P. 1987 Nutrient accumulation over an age sequence of *Eucalyptus grandis* planted in Cerrado sites, in two areas with different productivity levels, in Minas Gerais. Revista Árvore 11 (1) pp 1-15
- 36- SGARBI, F.; SILVEIRA, R, L.V.A.; TAKASHI, E.N.; CAMARGO, M.A.M. 1996 Crescimento e Produção da Biomassa de Clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus uriphylla* em Solução nutritiva com Omissões de Macronutrientes, Boro e Zinco. In Conferencia sobre Silvicultura e Melhoramento de eucaliptos. IUFRO. pp 92-97
- 37- STECKEL, J.E.; FLANNERY, R.L. 1971. Simultaneous determinations of phosphorus, potassium, calcium and magnesium in wet digestion solution of plant tissue by autoanalyzer In Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue. L.M. Welsh, ed. Madison, WI, SSSA pp 83-96
- 38- URUGUAY. MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL. DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. 1996. Normales climatológicas período 1961-1990. Montevideo.
- 39- VALERI, S.V.; AGUIAR, I.B.; CORRADINI, L.; ALVARENGA, S.F. 1993. The Effects of Phosphorus and Dolomitic Lime on the Production and Volumetrical Conversion Factors of *Eucalyptus grandis* Wood. South Afr. For. Journal 164: 55-57
- 40- VITOUSEK, P.M.; SANFORD, R.L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. Ann. Rev. Ecol. Syst. 17: 137-67
- 41- WEISZ, P.B.; FULLER, M.S. 1975 Tratado de botánica. México, C.E.C.S.A. 740p

9 APÉNDICES

9.1 INCORPORACIÓN DEL NITRÓGENO

La fertilización se realizó incorporando la urea. Se aplicó la mitad del fertilizante a cada lado de los árboles. Para la operación se utilizaron barras de plantar. Son palas de hoja plana y su funcionamiento se basa en el método de compresión. Se introduce la barra en el suelo, se hacen dos movimientos (hacia atrás y hacia delante) para generar un pozo. El mismo tendrá forma de “reloj de arena”, con un estrechamiento antes del pozo propiamente dicho. Allí fue introducido el fertilizante. Finalmente, la barra se levanta unos centímetros y se vuelven a hacer dos movimientos para tapar el pozo anterior. Este método de incorporación de la urea disminuye la probabilidad de pérdidas por volatilización del NH_3 .

9.2 OBSERVACIONES

En los momentos de medición de los árboles durante los muestreos, fueron registradas situaciones atípicas de distintas zonas de la plantación con el fin de contar con información extra en el momento de evaluar los resultados.

Cuadro N° 1: **Observaciones del momento inicial** (primer medición y muestreo).

Dens. de Pobl. pl/há	Repetición	Tratamiento	Observación
2500	1	todos	Abundante maleza
3333	1	todos	Los árboles aún no han cambiado la corteza
3333	2	2	Abundante maleza

Cuadro N° 2: **Observaciones del momento final** (última medición y muestreo).

Dens. de Pobl. pl/há	Repetición	Tratamiento	Observación
2500	1	1	Ramas débiles, muy quebradizas al extraerles las hojas.
2500	2	1	Ataque leve de <i>Gonipterus</i> sp, ramillas del ápice muy débiles.
2500	2	2	Ataque intenso de <i>Gonipterus</i> sp en el ápice.
2500	2	3	Árboles con hojas aún en estado juvenil, muy coriáceas. Ataque leve de <i>Gonipterus</i> sp
2500	2	4	Follaje muy abundante; hojas adultas, bien formadas, color verde muy oscuro.

(Continúa en la página siguiente)

(Continuación)			
3333	1	2	En muy pocos árboles se observa intenso ataque de Gonipterus sp.
3333	1	3	En muy pocos árboles se observa intenso ataque de Gonipterus sp.
3333	1	3	En algunos árboles, la mitad inferior de la copa aún presenta hojas juveniles, muy coriáceas.

9.3 Cuadro N° 3: **Descripción del suelo**, de los tres bloques del experimento (posiciones en la ladera). (Descripciones realizadas a taladro).

LADERA ALTA

Horiz.	Prof. (cm)	Color	Textura	Moteados
A11	0-23	10YR3/2 Pardo grisáceo muy oscuro	ArF	
A12	23-45	10YR2/2 Pardo muy oscuro	ArF	
Bt1	45-58	10YR3/2 Pardo grisáceo muy oscuro	AcAr	7.5YR5/6 Pardo fuerte
Bt2	58-90	10YR5/1 Gris	Ac	2.5YR4/8 Rojo
B3	90+	5YR3/4 Pardo rojizo oscuro	AcAr	

LADERA MEDIA

Horiz.	Prof. (cm)	Color	Textura	Moteados
A11	0-25	10YR2/2 Pardo muy oscuro	ArF	
A12	25-46	10YR2/1 Negro	FAr	
Bt1	46-62	10YR3/2 Pardo grisáceo muy oscuro	AcAr	10YR5/8 Pardo amarillento
Bt2	62-92	10YR5/2 Pardo grisáceo	Ac	10YR5/8 Pardo amarillento
B3	92+	7.5YR5/2 Pardo	AcAr	7.5YR5/8 Pardo fuerte

LADERA BAJA

Horiz.	Prof. (cm)	Color	Textura	Moteados
A11	0-15	10YR3/2 Pardo grisáceo muy oscuro	FAr	
A12	15-30	10YR2/1 Negro	FAr	
Bt1	30-42	10YR2/1 Negro	AcAr	
Bt2	42-79	10YR4/1 Gris oscuro	Ac	10YR5/6 Pardo amarillento
B3	79+	5YR3/4 Pardo rojizo oscuro	AcAr	

9.4 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Cuadro N° 4: Registro de precipitaciones, temperatura y humedad para el mes siguiente a la fertilización. Promedios diarios.

Fecha	HR mín.	HR máx.	Precip.	T. mín.	T. máx.	T. prom.
10/09/99	50,42	99	0	3,10	17,50	10,46
11/09/99	50,76	99	0	7,20	19,20	12,31
12/09/99	65,92	99	0	7,60	21,90	14,48
13/09/99	78,58	99	0,5	7,70	20,00	15,26
14/09/99	64,85	99	0,5	4,60	20,00	11,72
15/09/99	42,00	99	0	6,10	22,00	14,16
16/09/99	47,04	99	0	8,90	22,80	15,76
17/09/99	47,92	99	0	10,80	26,40	17,66
18/09/99	57,10	99	0	11,10	29,00	19,52
19/09/99	45,87	99	0	7,60	21,30	14,48
20/09/99	63,41	99	0	10,10	27,40	17,86
21/09/99	65,10	99	0	10,80	24,70	17,78
22/09/99	59,38	99	0	10,30	22,30	15,92
23/09/99	56,32	99	0	8,70	22,30	15,54
24/09/99	55,87	99	0	9,90	26,40	17,84
25/09/99	66,45	99	0	12,90	19,30	16,12
26/09/99	74,08	99	0	10,70	22,50	16,28
27/09/99	61,20	99	0	10,10	22,50	15,99
28/09/99	68,72	99	0	12,30	24,80	17,38
29/09/99	53,33	99	0	7,70	18,30	13,57
30/09/99	46,17	99	0	5,70	25,40	15,40
01/10/99	57,51	99	0	8,40	16,10	13,13
02/10/99	53,07	99	0	2,40	15,00	9,02
03/10/99	53,27	99	0	-1,30	13,30	6,38
04/10/99	53,61	99	0	-1,60	15,90	8,01
05/10/99	60,73	99	0	4,20	18,00	11,48
06/10/99	62,94	99	0	10,30	22,40	16,79
07/10/99	85,71	99	1,5	12,50	18,10	15,59
08/10/99	75,55	99	0,5	10,80	21,00	15,36
09/10/99	68,48	99	0	7,10	20,90	14,28

Los días 10 y 11, se realizó la aplicación de fertilizante.

Cuadro N° 5: Información meteorológica por estación. Registros de la estación meteorológica del establecimiento.

Estación	Precipitaciones (mm)	Subtotal (mm)
Primavera	86.5	320
Verano	233.5	
Otoño	660	660
Total		980

Conviene recordar que la especie en estudio crece naturalmente en una región de 1000-1800 mm de precipitaciones en verano.

A efectos comparativos, se muestran los datos de precipitación registrados en una estación meteorológica automática ubicada próxima al establecimiento.

Cuadro N° 6: Registros de una estación meteorológica de Pandule.

Estación	Precipitaciones (mm)	Subtotal (mm)
Primavera	106	386
Verano	280	
Otoño	637	
Total		1023

Cuadro N° 7: Registro climático de precipitaciones para Paysandú. Promedio mensual, anual y por estación:

Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Anual
91	122	118	115	100	131	147	103	77	1218
Media/mes: 110.3 Des. St.: 16.8 C.V.: 15%			Media/mes: 115.3 Des. St.: 15.5 C.V.: 13%			Media: 109 Des. St.: 35.4 C.V.: 32%			

Estos valores corresponden al promedio climático del departamento de Paysandú; por lo tanto, aportan un valor aproximado de cuánto llueve mensualmente en ese Departamento. No obstante, no son buenos índices de comparación debido a que (por ser promedio), no se evidencian las particularidades de cada año.

9.5 Cuadro N° 8: Medidas promedio de DAP y H.

Densidad pobl.	Tratam.	DAP (mm)	H (m)
Promedio inicial			
2500	-	105	12.29
3333	-	93	12.42
Promedio final			
2500	1	110	13.34
	2	110	13.28
	3	105	13.11
	4	112	13.53
3333	1	97	13.54
	2	102	13.75
	3	100	14.13
	4	96	13.29

9.6 MEDIDAS DE LOS ÁRBOLES MUESTREADOS

Cuadro N° 9: Medidas de los AMPi.

Dens	Repet.	DAP (mm)	H (m)	Largo tot. (m)	Largo copa (m)
2500	1	101	11.8	11.30	5.20
2500	2	106	12.4	11.95	6.15
2500	3	106	13.1	12.60	6.30
3333	1	93	12.2	11.18	6.55
3333	2	90	12.6	11.65	7.90
3333	3	94	13.4	12.70	8.00

Hojas		Ramas		Corteza				Tallo			
Muestra		Muestra		Total		Muestra		Total		Muestra	
Peso fresco	Peso seco	Peso fresco	Peso seco	Peso Fresco	Peso Seco	Peso Fresco	Peso Seco	Peso Fresco	Peso Seco	Peso Fresco	Peso Seco
770	390	770	420	7995	3539	610	270	37475	20537	3020	1655
1160	530	565	320	11500	4870	1535	650	32085	14729	5130	2355
670	325	690	340	7880	2971	610	230	48555	20739	3500	1495
945	410	910	495	6460	2886	705	315	31045	14996	3685	1780
755	390	910	525	6380	2566	1355	545	32705	15427	5215	2460
1180	480	870	475	5695	2150	490	185	36520	15901	3445	1500

9.7 MEDIDAS DE LOS AMPf.

Se muestran en hoja adjunta.

Dens.	N° ár.	Rep	Trat.	N° Parc.	DAP	H	Largo tot.	Largo Copa	Hojas						Pe fre: tota
									Peso fresco total (g)	Peso seco total (g)	Peso muestra (g)	Peso seco muestra (g)	Peso fresco muestra 1/3 superior	Peso seco muestra 1/3 superior	
2500	1	1	3	1	108	13,8	14	7,1	7600	3371	1240	500	30	15	50
2500	2	1	3	1	107	13,6	13,15	6,1	7815	3391,4	1060	460	30	15	60
2500	3	1	3	1	110	13,5	14,1	6,9	8700	3932,2	885	400	35	20	59
2500	4	1	3	1	107	13,3	13,6	6,8	7035	3151,7	1250	560	30	30	53
2500	1	1	1	2	109	13,1	13,3	7,1	8635	3810,6	1235	545	75	40	55
2500	2	1	1	2	106	12,8	12,8	6,8	6900	2985,3	1225	530	60	30	63
2500	3	1	1	2	106	11,5	11,2	6,1	4860	2221,1	1105	505	35	25	48
2500	4	1	1	2	109	12,7	12,6	7,7	6165	2510,2	1535	625	45	30	64
2500	1	1	4	3	111	15	14,1	7,5	9360	3964,2	1275	540	60	30	69
2500	2	1	4	3	111	13,9	13,4	7,3	8665	3531,3	1460	595	40	20	63
2500	1	1	2	4	109	12,3	12,55	6,3	6120	2576,8	1330	560	70	35	55
2500	2	1	2	4	109	12,2	12,4	4,4	4635	2063,5	1460	650	55	25	40
2500	1	2	2	1	107	12,1	11,5	5,2	4480	1922,5	1270	545	65	30	49
2500	2	2	2	1	109	14,7	14,1	6,1	8540	3849,5	1320	595	40	15	72
2500	1	2	3	2	103	13,7	13,4	6	5630	2124,5	1325	500	30	15	51
2500	2	2	3	2	106	13,1	13,5	6,6	6425	2939,9	1355	620	70	40	59
2500	3	2	3	2	108	12,2	12,9	6,5	7075	3191,3	1175	530	55	30	60
2500	4	2	3	2	107	12,9	13,3	6,7	6000	2361	1385	545	30	15	61
2500															
2500	1	2	4	3	113	14,2	14,1	7	8185	3426,3	1290	540	40	20	79
2500	2	2	4	3	113	13,9	13,5	7,2	7335	2910,7	1260	500	30	15	95
2500	1	2	1	4	111	13,1	12,7	7,7	6060	2490,4	1095	450	35	15	126
2500	2	2	1	4	111	13,3	13,7	6,6	8330	3766,9	1360	615	55	25	54
2500	3	2	1	4	110	12,3	13,3	7,9	7005	2855,1	1055	430	45	10	70
2500	4	2	1	4	111	13,2	12,7	5,5	4995	2122,3	1165	495	45	20	55
2500	1	3	4	1	111	14,2	13,9	5,8	4785	1806,4	1245	470	30	15	50
2500	2	3	4	1	110	13,5	13,9	6,8	9250	3920,8	1215	515	35	15	85
2500	1	3	3	2	105	13,1	13,05	5	4255	1641,2	1050	405	30	15	46
2500	2	3	3	2	111	13,5	13,6	4,9	3535	1602,5	750	340	35	10	46
2500	3	3	3	2	107	13,7	13,6	6,7	7110	3054,9	1315	565	20	10	70
2500	4	3	3	2	105	13,9	13,8	6,2	6990	2995,7	980	420	25	10	55
2500	1	3	2	3	110	14,1	14,2	5,6	9005	3884,5	1275	550	25	10	60
2500	2	3	2	3	110	13,7	14,2	5,4	5560	1964	1005	355	30	15	47
2500	1	3	1	4	110	14,5	13,7	6,6	5200	2293,2	805	355	40	20	73
2500	2	3	1	4	110	14	14,1	6,9	6145	2165,1	965	340	45	20	87
2500	3	3	1	4	108	13,5	13,5	5,8	4765	2174,3	1030	470	40	20	47
2500	4	3	1	4	110	12,6	12,8	6,4	7650	3116,7	945	385	30	15	64
3300	1	1	1	1	97	14,4	13,6	5,4	4740	1943,1	805	330	35	15	259
3300	2	1	1	1	98	12,5	12,6	5,4	4970	2052,8	920	380	25	15	429
3300	3	1	1	1	97	13,1	12,8	6,2	4890	2135,5	790	345	25	10	550
3300	4	1	1	1	96	12,8	12,6	5,1	4240	1762,1	770	320	40	20	375
3300	1	1	4	2	95	14,3	14,4	7,5	7770	3261,9	1060	445	40	20	364
3300	2	1	4	2	95	13,2	12,7	5,9	5990	2544,8	765	325	40	15	502
3300	1	1	2	3	100	14,3	14,4	7,7	5115	2108,2	740	305	40	15	485
3300	2	1	2	3	101	14,1	14	6,8	8695	3555,1	1015	415	35	15	73
3300	1	1	3	4	100	14,2	13,6	5,6	5075	2096,2	920	380	30	15	10
3300	2	1	3	4	99	14,3	13,9	8	6225	2625,5	735	310	35	15	40

9.8 FÓRMULAS DE CÁLCULO DE RENDIMIENTO.

El valor de PS de los componentes se conoce mediante dos cálculos; con el primero se calcula al valor de MS (en base verde) de la fracción muestra. Con el segundo llega al valor de PS del componente en estudio.

Ej: PF muestra ---- 100%
 PS muestra ---- $x = \% MS$ (en base verde)
 PF del componente $\times MS$ (en base verde) = PS del componente

La suma de los PS de todos los componentes = PS total individual, estimado para los árboles muestra.

PS individual \times densidad de población = PS por unidad de superficie;

Para que la estimación se ajuste mejor a la producción real de la población en estudio, el valor de PS por unidad de superficie se debe corregir según el porcentaje de sobrevivencia de cada densidad de población y para los distintos tratamientos.

El valor de MS en base seca también se calcula mediante una regla de tres. La suma de MS en base verde de los componentes de un árbol se denominó MS total individual. Este valor de MS tot es a 100%, como el contenido de MS de un componente dado es a "x".

Ej: MS total ---- 100%
 MS tallo --- $x = \% MS$ (en base seca)

9.9 RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS (DAP, H).

A continuación se muestran los datos obtenidos en el análisis estadístico y que no fueron presentados en los Resultados.

Cuadro N° 10: **Análisis del diámetro inicial (DAPi)**, comparando los distintos tratamientos de fertilización entre sí y el efecto de las diferentes densidades.

EFFECTO	DENS.	TRATAM.	DENS.	TRATAM.	DIFERENCIA	PROBABILIDAD
TRATAM.		0		50	-1.39	0.92
TRATAM.		0		100	0.61	0.99
TRATAM.		0		200	-0.74	0.99
TRATAM.		50		100	2.00	0.79
TRATAM.		100		200	0.64	0.99
TRATAM.		200		200	-1.36	0.92
DENS.	2500		3333		12.14	0.01

Cuadro N° 11: **Análisis de altura inicial (Hi)**, comparando los distintos tratamientos de fertilización entre sí y el efecto de las diferentes densidades.

EFEECTO	DENS.	TRATAM.	DENS.	TRATAM.	DIFEREN- CIA	PROBABI- LIDAD
TRATAM.		0		50	0.11	0.96
TRATAM.		0		100	0.18	0.87
TRATAM.		0		200	0.15	0.91
TRATAM.		50		100	0.07	0.99
TRATAM.		100		200	0.04	0.99
TRATAM.		200		200	-0.03	0.99
DENS.	2500		3333		-0.13	0.77

Cuadro N° 12: **Análisis del diámetro final (DAPf)**, comparando los distintos tratamientos de fertilización entre sí y el efecto de las diferentes densidades.

EFEECTO	DENS.	TRATAM.	DENS.	TRATAM.	DIFEREN- CIA	PROBABI- LIDAD
TRATAM.		0		50	-0.06	0.99
TRATAM.		0		100	0.26	0.98
TRATAM.		0		200	0.26	0.98
TRATAM.		50		100	0.32	0.97
TRATAM.		100		200	0.33	0.97
TRATAM.		200		200	0.01	1.00
DENS.	2500		3333		-0.98	0.26

Cuadro N° 13: **Análisis de altura final (Hf)**, comparando los distintos tratamientos de fertilización entre sí y el efecto de las diferentes densidades.

EFEECTO	DENS.	TRATAM.	DENS.	TRATAM.	DIFEREN- CIA	PROBABI- LIDAD
TRATAM.		0		50	-0.24	0.50
TRATAM.		0		100	-0.13	0.85
TRATAM.		0		200	-0.15	0.80
TRATAM.		50		100	0.11	0.92
TRATAM.		100		200	0.09	0.95
TRATAM.		200		200	0.19	0.99
DENS.	2500		3333		-0.05	0.71

9.10 VALORES DE SOBREVIVENCIA

Cuadro N° 14: **Porcentaje de sobrevivencia del experimento, para cada densidad y los diferentes tratamientos.** Valores promedios de tres repeticiones.

DENSIDAD	TRATAM.	Muestreo inicial (%)	Muestreo final (%)
2500	0	83	83
	50	79	79
	100	85	84
	200	82	81
Promedio		82.25	81.75
3333	0	91	89
	50	88	87
	100	83	81
	200	87	86
Promedio		87.25	85.75

9.11 RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE PS Y MS

Muestreo inicial

Cuadro N° 15: **Resultados estadísticos para el peso seco.**

FUENTE DE VARIACIÓN	TALLO		CORTEZA	
	Probabilidad de error	Coef. de variación	Probabilidad de error	Coef. de variación
Densidad	0.24	14.17	0.13	20.31

No existen diferencias significativas en el PS de tallo y corteza, entre ambas densidades de población, en el muestreo inicial.

Cuadro N° 16: **Resultados estadísticos para la materia seca (en base verde).**

FUENTE DE VARIACIÓN	TALLO		CORTEZA		RAMAS		HOJAS	
	Probabilidad de error	Coef. de variación						
Densidad	0.62	6.55	0.55	2.36	0.34	3.73	0.57	11.80

No existen diferencias significativas en el porcentaje de MS de los distintos componentes de la biomasa aérea, en el muestreo inicial.

Muestreo final

Cuadro N° 17: Resultados estadísticos para el peso seco.

FUENTE DE VARIACIÓN	TALLO		CORTEZA		RAMAS		HOJAS		TOTAL	
	Valor F	Prob. de error								
Dens.	14.88	0.02	17.95	0.01	12.23	0.03	4.13	0.11	27.31	0.01
Trat.	2.27	0.13	0.08	0.97	2.72	0.09	1.87	0.19	2.13	0.15
D x T	2.64	0.10	5.85	0.01	4.04	0.03	1.77	0.20	4.51	0.02

Los valores en rojo indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Las diferencias se deben a efectos de la densidad, de los tratamientos y a efectos de la interacción densidad x tratamiento.

Cuadro N° 18: Resultados estadísticos para la materia seca (en base verde).

FUENTE DE VARIACIÓN	TALLO		CORTEZA		RAMAS		HOJAS		TOTAL	
	Valor F	Prob. de error								
Dens.	0.08	0.80	2.13	0.22	0.41	0.56	0.29	0.62	0.39	0.57
Trat.	0.10	0.96	0.52	0.67	0.64	0.60	0.34	0.80	0.13	0.94
D x T	1.03	0.42	2.05	0.16	2.05	0.16	1.15	0.37	1.92	0.18

No existen diferencias significativas en el porcentaje de MS de los distintos componentes de la biomasa aérea, en el muestreo final.

Cuadro N° 19: Resultados estadísticos para el porcentaje de biomasa aérea de los componentes, en relación al total.

FUENTE DE VARIACIÓN	TALLO		CORTEZA		RAMAS		HOJAS	
	Valor F	Prob. de error						
Dens.	7.70	0.05	1.56	0.28	8.40	0.04	0.70	0.45
Trat.	0.10	0.96	1.02	0.42	0.48	0.70	1.70	0.22
D x T	2.86	0.08	0.62	0.61	2.74	0.08	0.84	0.50

Los valores en rojo indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas. Las diferencias se deben a efectos de la densidad y a efectos de la interacción densidad x tratamiento.

9.12 Cuadro N° 20: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS, contenido de nitrógeno (g) en los distintos componentes. Valores promedio de los árboles de cada parcela (muestra compuesta).

Componente	Rep.	Trat.	N en la muestra (%)	Peso prom. de cada componente * ⁴ (Kg)	N abs/pl. (g)	N abs/pl prom/trat (g)	N abs/pl. (Kg)	N abs/há (Kg) ^{*5}	N abs/há prom/trat (Kg) ^{*5}
Tallo	1	0	0.09	19.511	17.56	15.77	0.018	37.35	33.20
	3	0	0.06	23.285	13.97		0.014	29.05	
	1	200	0.27	22.784	61.52	51.68	0.062	125.55	105.3
	3	200	0.21	19.923	41.84		0.042	85.05	
Corteza	1	0	0.27	4.082	11.02	11.73	0.011	22.83	23.87
	3	0	0.33	3.774	12.45		0.012	24.90	
	1	200	0.36	4.386	15.79	13.97	0.016	32.40	28.35
	3	200	0.33	3.679	12.14		0.012	24.30	
Ramas	1	0	0.27	2.724	7.35	8.46	0.007	14.53	16.41
	3	0	0.30	3.186	9.56		0.009	18.68	
	1	200	0.30	3.017	9.05	9.60	0.009	18.23	19.24
	3	200	0.33	3.076	10.15		0.010	20.25	
Hojas	1	0	1.52	2.874	43.68	41.58	0.044	91.30	86.12
	3	0	1.62	2.437	39.48		0.039	80.93	
	1	200	1.62	3.748	60.72	60.86	0.061	123.53	123.53
	3	200	2.13	2.864	61.00		0.061	123.53	

En promedio, los árboles que no recibieron aplicación de urea tienen un contenido de 77.55g de N y los árboles que recibieron 200g de urea, tienen un contenido de 136.11g de N. Los valores de contenido de nitrógeno por unidad de superficie, corresponden a 159.6 y 276.42 Kg/ha, respectivamente.

*⁴ Valores promedio de cuatro y dos árboles en los tratamientos de 0 y 200g de urea/planta, respectivamente.

*⁵ Valores corregidos según sobrevivencia de la población, para cada tratamiento y repetición.

9.13 Cuadro N° 21: RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL CONTENIDO DE NITRÓGENO. Datos para el contenido individual de N (por árbol) y para la hectárea. Valores promedio de dos repeticiones.

Fuente de variación	TALLO		CORTEZA		RAMAS		HOJAS		TOTAL	
	Valor F	Prob. de error	Valor F	Prob. de error	Valor F	Prob. de error	Valor F	Prob. de error	Valor F	Prob. de error
Tratam. (por árbol)	20.25	0.14	1.00	0.50	9.00	0.20	60.84	0.08	49.00	0.09
Repet.	2.25	0.37	0.36	0.66	9.00	0.20	1.00	0.50	2.91	0.34
N° obs.	4		4		4		4			
CV	23.53		19.61		5.71		4.88		7.96	
Tratam. (por ha)	20.25	0.14	1.00	0.50	9.00	0.20	60.84	0.08	49.00	0.09
Repet.	2.25	0.37	0.36	0.66	9.00	0.20	1.00	0.50	2.91	0.34
N° obs.	4		4		4		4		4	
CV	23.53		19.61		5.71		4.88		7.96	
Tratam. (por ha corr.)	150.58	0.05	1.77	0.41	67081.00	0.003	9.81	0.20	1040.80	0.02
Repet.	1.86	0.40	0.57	0.59	319225.00	0.001	1.97	0.39	29.12	0.12
N° obs.	4		4		4		4		4	
CV	8.62		13.98		0.07		12.70		1.74	