

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

CUANTIFICACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR TROZAS
COMERCIALES DE *Eucalyptus globulus* EN SUELOS DE BASAMENTO
CRISTALINO DE LA ZONA ESTE DEL PAÍS

por

Sebastián VARELA QUINTELA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2009

Tesis aprobada por:

Director: _____
Jorge Hernández

Amabelia del Pino

Alejandro González

Mónica Cadenazzi

Fecha: _____

Autor: _____

Sebastián Varela Quintela

AGRADECIMENTOS

El autor agradece a la empresa Forestal Oriental, por proporcionar los sitios de muestreo de eucaliptos junto con la colaboración en la logística de campo, a mi director de tesis Ing. Agr. Jorge Hernández, a la Ing. Agr. Amabelia del Pino, al Ing. Agr. Alvaro Califra, Lic. Jorge Bossi, Ricardo Giosa, Gustavo Olivera, a todo el equipo del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía y a mi familia por todo su apoyo durante la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRÁFICA</u>	5
2.1 CARACTERIZACIÓN DE <i>Eucalyptus globulus</i> EN URUGUAY....	5
2.2 PROPIEDADES PAPELERAS DE <i>Eucalyptus globulus</i>	5
2.2.1 <u>Propiedades pulpables</u>	6
2.3 CICLO DE LOS NUTRIENTES EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES.....	7
2.4 FACTORES QUE AFECTAN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES DE LAS PLANTACIONES FORESTALES.....	11
2.4.1 <u>Edad de las plantaciones al final de turno</u>	11
2.4.2 <u>Compartimento de la biomasa cosechado</u>	16
2.4.3 <u>Distribución y contenido de nutrientes a lo largo del fuste</u> ..	20
2.4.4 <u>Calidad del sitio</u>	20
2.5 IMPACTO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.....	21
2.6 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE <i>E.globulus</i> EN LA ZONA ESTE.....	23
2.7 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE PRIORIDAD FORESTAL DE BASAMENTO CRISTALINO EN LA ZONA ESTE DEL PAÍS.....	23
2.7.1 <u>Superficie de prioridad forestal para los departamentos del este del país</u>	23
2.7.2 <u>Descripción de los grupos de suelos Coneat</u>	24
2.7.3 <u>Clasificación de suelos DSF-MGAP asociados a las zonas relevadas</u>	26
2.7.3.1 Suelos poco desarrollados.....	26
2.7.3.2 Suelos melánicos.....	29
2.7.4 <u>Geología de la región</u>	32
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	35
3.1 UBICACIÓN DE SITIOS EXPERIMENTALES.....	35
3.2 SELECCIÓN DE MUESTRAS.....	36
3.3 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS VEGETALES.....	37
3.3.1 <u>Pesado, secado y molienda de muestras</u>	38
3.3.2 <u>Determinaciones analíticas</u>	38
3.3.2.1 Determinación de calcio, magnesio, potasio y fósforo.....	38

3.3.2.2 Determinación de nitrógeno total.....	38
3.4 MUESTREO DE SUELO.....	38
3.5 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS DE SUELO.....	39
3.5.1 <u>Determinaciones analíticas</u>	39
3.6 ANALISIS ESTADISTICO.....	40
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	41
4.1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN TROZAS COMERCIALES.....	41
4.2 CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN TROZAS COMERCIALES.....	45
4.2.1 <u>Concentración de nutrientes a lo largo del fuste</u>	45
4.2.2 <u>Exportación de nutrientes por sitio</u>	52
4.3 EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE LOS NUTRIENTES.....	55
4.4 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS EVALUADOS....	57
4.5 RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE NUTRIENTES Y ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO.....	61
5. <u>CONCLUSIONES</u>	63
6. <u>RESUMEN</u>	65
7. <u>SUMMARY</u>	66
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	67
9. <u>APENDICE</u>	71

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Caracterización de las propiedades papeleras para <i>Eucalyptus spp</i>	5
2. Densidad aparente básica para <i>Eucalyptus spp</i>	6
3. Rendimiento bruto a kappa 20 para <i>Eucalyptus spp</i>	7
4. Evolución del contenido de nutrientes en una plantación de <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden desde la etapa juvenil a final turno.....	13
5. Evolución de la biomasa comercial, contenido de nutrientes, y eficiencia de uso de los nutrientes en cinco plantaciones de <i>Eucalyptus regnans</i> de diferentes edades.....	15
6. Biomasa y contenido medio de nutrientes en los diferentes compartimentos de la biomasa aérea de <i>Eucalyptus maidenii</i>	16
7. Biomasa total y contenido medio de nutrientes en los diferentes compartimentos de la biomasa aérea de plantaciones de <i>Eucalyptus globulus</i> entre los 14 y 18 años de edad.....	17
8. Biomasa total y contenido medio de nutrientes en los diferentes compartimentos de la biomasa aérea de <i>Eucalyptus regnans</i> de 10 años de edad.....	17
9. Producción de biomasa aérea y extracción de nutrientes de los diferentes compartimentos de la biomasa de una plantación de <i>Eucalyptus globulus</i> de 10 años de edad.....	18
10. Producción de biomasa aérea y concentración de nutrientes de los diferentes compartimentos de la biomasa de una plantación de <i>Eucalyptus globulus</i> de 10 años de edad.....	18
11. Producción de biomasa y concentración de nutrientes de los diferentes componentes de la biomasa aérea de una plantación de <i>Eucalyptus dunnii</i> de 9 años de edad.....	19
12. Producción de biomasa y extracción de nutrientes por hectárea de los diferentes componentes de la biomasa aérea de una plantación de <i>Eucalyptus dunnii</i> de 9 años de edad.....	19

13. Descripción de las coordenadas geográficas y vías de acceso a los sitios.	36
14. Descripción del marco de plantación en los rodales evaluados.....	37
15. Producción promedio de biomasa por árbol de <i>E.globulus</i> y biomasa comercial por hectárea por grupo de suelos CONEAT en las 7 parcelas evaluadas, y características dasométricas asociadas al rodal.....	41
16. Coeficiente de variación para la concentración de nutrientes en la porción basal, media y apical del fuste para los cinco árboles de los siete rodales evaluados.....	50
17. Porcentaje de nutrientes en el fuste de las parcelas evaluadas.....	50
18. Análisis de varianza para la concentración de nutrientes en el fuste de <i>E.globulus</i> entre parcelas.....	51
19. Coeficiente de variación para la concentración de cada nutriente entre ejemplares de <i>E.globulus</i> de la misma parcela.....	52
20. Valores promedio, desvío standard y coeficiente de variación para la exportación de nutrientes en trozas comerciales de <i>E. globulus</i> por parcela.....	53
21. Análisis de varianza para las cantidades de nutrientes exportadas por árbol –año de <i>E.globulus</i> entre parcelas.....	54
22. Coeficiente de utilización biológica (CUB) para los nutrientes evaluados en plantaciones de <i>E.globulus</i>	56
23. Análisis de varianza para las diferencias de CUB para los nutrientes entre las parcelas de <i>E.globulus</i>	57
24. Parámetros analíticos promedio de los horizontes A y B de los perfiles de suelo de cada sitio. Se consideraron los valores para las dos situaciones de manejo: forestal y pastoril.....	58

Figura No.

1. Superficie anual de plantación de <i>Eucalyptus spp</i>	2
2. Superficie ocupada por plantaciones industriales en los grupos de prioridad forestal con más de 1000 hectáreas forestadas.....	3
3. Extracción de nitrógeno en una plantación de <i>Eucalyptus grandis</i> según la edad.....	14
4. Distribución de plantaciones comerciales de <i>Eucalyptus globulus</i> en los departamentos de la zona este del país.....	23
5. Superficie de suelos de prioridad forestal en los departamentos del Este del país.....	24
6. Superficie de suelos de prioridad forestal por grupos de suelos CONEAT para los departamentos de Rocha, Lavalleja, Maldonado, Treinta y tres y Cerro Largo.....	24
7. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo y distribución de suelos de prioridad sobre basamento cristalino en la zona este.....	25
8. Carta geológica del Uruguay asociada a las parcelas muestreadas.....	32
9. Ubicación geográfica de las parcelas muestreadas.....	35
10. Relación entre la producción promedio por año de biomasa por árbol de <i>E.globulus</i> y el DAP para las parcelas evaluadas.....	44
11. Relación entre la producción promedio por año de biomasa por árbol de <i>E .globulus</i> y la altura para las parcelas evaluadas.....	45
12. Concentración de N promedio según altura del fuste de <i>E. globulus</i>	46
13. Concentración de P promedio según altura del fuste de <i>E. globulus</i>	47
14. Concentración de K promedio según altura del fuste de <i>E. globulus</i>	48
15. Concentración de Ca promedio según altura del fuste de <i>E. globulus</i>	48
16. Concentración de Mg promedio según altura del fuste de <i>E globulus</i>	49

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo fue realizado en el marco del proyecto “Impacto de las plantaciones comerciales de eucalipto y pino en la productividad y sostenibilidad del recurso suelo”, financiado por la Comisión Sectorial de Investigaciones Científicas (CSIC), bajo la Modalidad 1 de asociación con el Sector Productivo.

La sustentabilidad de la producción forestal se basa en gran medida en la elección de las técnicas de manejo más apropiadas tendientes a la conservación de los recursos naturales (Fernández, 2002), teniendo en cuenta al suelo como uno de ellos, se destaca como relevante el control de la erosión, un balance adecuado de los ciclos de nutrientes, así como una buena conservación del agua en el perfil del suelo.

El mantenimiento de la productividad de los bosques a lo largo de las diferentes rotaciones está en directa relación con el reciclaje de nutrientes, por lo cual es fundamental cuantificar las cantidades de nutrientes extraídas por parte de las plantaciones forestales comerciales.

Dentro de un ecosistema forestal, el sostenimiento de la capacidad productiva de un sitio sólo será mantenida en el largo plazo, cuando las pérdidas de nutrientes, por la erosión y la utilización de biomasa fueran repuestas de forma eficiente. Por lo tanto es fundamental establecer cuánta biomasa es producida y cuantos nutrientes son exportados por las especies forestales (Schumacher y Winckler Caldeira, 2001).

Según dicho autor, el manejo eficiente de una población forestal también está ligado al ciclaje de nutrientes, para que ocurra un flujo continuo entre lo que es depositado en el suelo con lo que es asimilado nuevamente por las raíces.

La acción de modificar el tapiz original por plantaciones forestales se puede considerar como un factor de transformación relevante del suelo, e inicio de un nuevo ciclo de su desarrollo, que afectará de manera diferente a la génesis del mismo. Se producirán cambios en los procesos de formación y propiedades del suelo, provocados por desarrollo radicular, formación de mantillo, y otros restos de biomasa, dinámica de la materia orgánica, disponibilidad de nutrientes, y probablemente cambios en el ciclo del agua, pH, y demás propiedades químicas y físicas (Schumacher y Winckler Caldeira, 2001).

El cultivo de especies forestales de rápido crecimiento, como lo es el caso de *Eucalyptus globulus*, ha tenido una rápida dispersión en el Uruguay a partir de la promulgación de la ley de promoción forestal 15.939 en el año 1987. En la actualidad esta especie ocupa extensas áreas con distintas características edafo-climáticas en nuestro país, distribuidos en las zonas clasificadas como de prioridad forestal.

Los beneficios otorgados por dicha ley llevaron a que se incrementara notoriamente el ritmo anual de plantación de *Eucalyptus spp*, pasando de aproximadamente 2.000 ha anuales para el período en 1979-1988, a más de 80.000 ha en 1998.

Uruguay tiene una superficie terrestre de 17,6 millones de ha, de las cuales aproximadamente 3,5 millones de hectáreas (20%) fueron declaradas por el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca como de prioridad forestal, de las cuales a la fecha se han forestado en el orden de las 950.000 ha (no alcanzando el 5% de la superficie total). En la Figura 1 se observa que hasta el año 1998 hubo un crecimiento en el área plantada, con una posterior disminución (Dell Acqua et al., 2006).

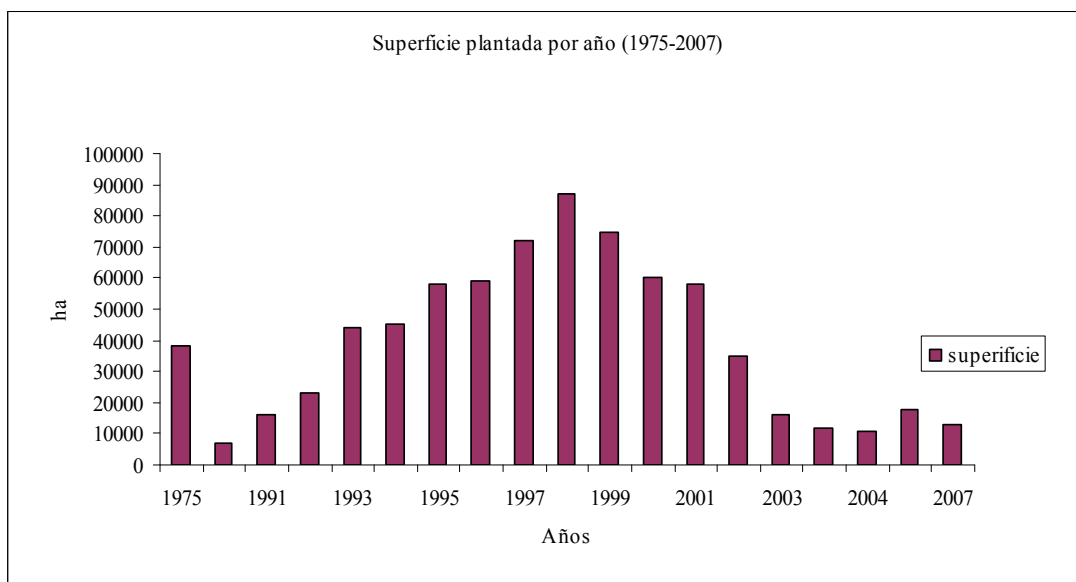


Figura 1. Superficie anual de plantación de *Eucalyptus spp*. Fuente: adaptado de URUGUAY. MGAP. DGF (2008).

Se observa en la figura la evolución de la superficie plantada por año, con un incremento marcado en la década de los 90 luego de la promulgación de la ley forestal 15.939 con un pico máximo en 1998 cercano a las 90000 hectáreas, decreciendo luego hasta estabilizarse en el entorno de las 12000 para los últimos 5 años.

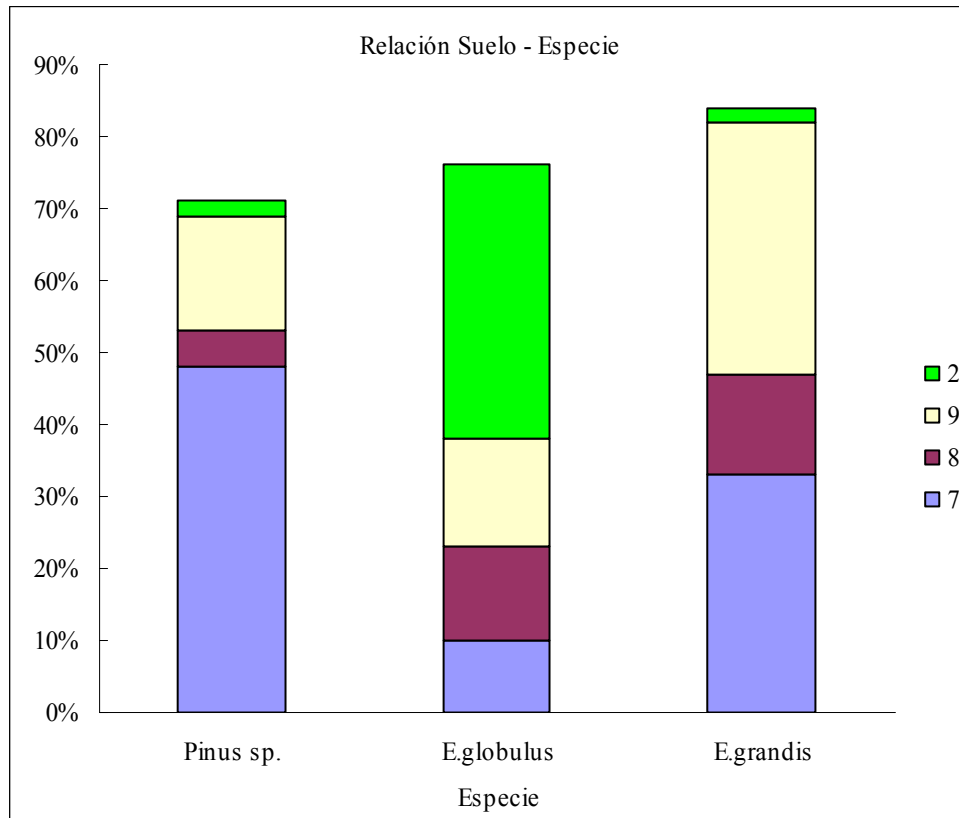


Figura 2. Superficie ocupada por plantaciones industriales en los grupos de prioridad forestal con más de 1000 hectáreas forestadas. Fuente: adaptado de Dell Acqua et al. (2006).

En la figura se observa el predominio de dicha especie sobre los suelos del grupo 2 Coneat, la cual representa cerca del 40% de la superficie ocupada por dicha especie en los suelos de prioridad forestal a nivel nacional.

En relación al impulso que ha tomado la producción forestal en los últimos 20 años y el protagonismo de *Eucalyptus globulus* en dicha actividad, han surgido inquietudes a nivel académico y privado en conocer la sostenibilidad de estos sistemas

teniendo en cuenta la exportación de nutrientes y las propiedades físico químicas de los suelos afectados, que se relacionan entre otros factores, con la sostenibilidad de la producción en el mediano y largo plazo.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se jerarquizaron las zonas del grupo de suelos 2 según Coneat que representan en la actualidad la mayor presencia de *Eucalyptus globulus* en el país para la realización del estudio.

Los objetivos perseguidos fueron:

- Cuantificar la exportación de nutrientes en las trozas comerciales de *Eucalyptus globulus* con destino a la producción de pasta de celulosa en suelos de basamento cristalino de la zona este del país.
- Relacionar la magnitud de la exportación de nutrientes con algunas las propiedades químicas del suelo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZACIÓN DE *Eucalyptus globulus* EN EL URUGUAY

Esta especie del género *Eucalyptus* es natural de la región sur de Australia, incluida Tasmania en localidades costeras y continentales, con altitudes desde el nivel mar hasta los 450 m; de clima templado-frío uniforme, con un promedio de temperaturas máximas de 20-23 °C y mínimas de 0-8 °C con hasta 40 heladas al año; subhúmedo o húmedo con precipitaciones del orden de los 600 a 1.400 mm anuales mayoritariamente invernales (Brussa, 1994).

El territorio uruguayo se encuentra en una área de transición para el cultivo de la especie *Eucalyptus globulus*. Se ha observado en algunas áreas particulares del país una buena adaptación de la especie. Esta especie se ha adaptado más a zonas costeras que continentales, debida principalmente a la influencia marítima de esa zona, coincidente con el lugar de origen de los ejemplares introducidos a nuestro país. Los principales inconvenientes en Uruguay para el crecimiento y desarrollo de esta especie son: las heladas, las sequías prolongadas, el excesivo calor del verano y la temperatura promedio anual baja (Shield, 2004).

La gran demanda que presenta la madera de *Eucalyptus globulus* para la producción de celulosa y papel ha llevado a que esta especie sea la de mayor área plantada en Uruguay, con una superficie superior a las 250 mil hectáreas (Balmelli et al., 2007).

2.2 PROPIEDADES PAPELERAS DE *Eucalyptus globulus*

A continuación en los cuadros 1 y 2 se presentan los datos relacionados a distintas especies acerca de la calidad de las fibras, las propiedades físicas y mecánicas del papel. La información presentada se obtuvo en un mismo laboratorio y en las mismas condiciones (Resquín et al., citados por Doldán et al., 2008).

Cuadro 1. Caracterización de las propiedades papeleras para *Eucalyptus spp.*

Propiedades papeleras	<i>E.grandis</i>	<i>E.dunnii</i>	<i>E.globulus</i>	<i>E.maidenii</i>
Grado de blanco (%ISO)	87,4	90,9	89,3	90,4
°SR(†)	24	25	23	25
Índice de Tracción(N.m g ⁻¹)	75,9	72,8	86,5	75,7
Índice de Desgarro (mN.m ³ g ⁻¹)	9,4	8,9	9,5	9,1

(†): grado de refinado = cantidad de tratamiento mecánico.

Fuente: adaptado de Doldán et al. (2008).

En el caso de pulpas blanqueadas con un proceso ECF estandarizado, se encuentran primero y muy notoriamente que el *Eucalyptus globulus* presenta los valores más desarrollados de índice de desgarramiento considerablemente buenos e índices de tracción dentro de los valores esperados (Doldán et al., 2008).

Se han determinado diferencias significativas en el comportamiento pulpable del *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*, se estudiaron las diferencias entre las especies de eucaliptos plantadas en el territorio nacional con destino pulpable mediante el estudio de las propiedades físicas y pulpables. Se consideraron los siguientes parámetros de calidad: densidad aparente básica, rendimiento pulpable a kappa 20 por proceso Kraft y consumo de madera para pulpa $m^3 Mg^{-1} t$ de celulosa.

Propiedades físicas de la madera: densidad aparente básica, entre otros aspectos la relación entre productividad y rendimiento de la madera de eucaliptos depende entre otras propiedades de la densidad de aparente que esta posee, se prioriza dicha propiedad como la más importante por su influencia directa tanto en el rendimiento real como económico (Doldán et al., 2008).

Cuadro 2. Densidad aparente básica para *Eucalyptus spp.*

Dab ($g\ cm^{-3}$)	<i>E.grandis</i>	<i>E.dunnii</i>	<i>E.globulus</i>	<i>E.maidenii</i>
Media	0,42	0,50	0,52	0,55
Desv.est.	0,03	0,04	0,01	0,03
C.V.%	6	8,1	1,7	4,7

Fuente: adaptado de Doldán et al. (2008).

El *Eucalyptus globulus* presenta menor dispersión, y se ubico en el segundo lugar en relación a este parámetro.

2.2.1 Propiedades pulpables

Rendimiento de cocción y álcali activo

Cuadro 3. Rendimiento bruto a kappa 20 para *Eucalyptus spp.*

Rendimiento bruto(%)	<i>E.grandis</i>	<i>E.dunnii</i>	<i>E.globulus</i>	<i>E.maidenii</i>
Media	51,7	51,1	54,5	51,4
Desvest	0,8	1,2	0,5	1,6
C.V.%	1,5	2,4	0,9	3,1

Fuente: adaptado de Doldán et al. (2008).

Según dicho autor el *Eucalyptus globulus* presentó los valores más altos de rendimiento bruto de celulosa sobresaliendo sobre los restantes, esta similitud de comportamiento es reafirmada mediante un comparativo entre los valores de carga de alcali activo utilizado en cocción para la obtención de pulpas de celulosa con un grado similar de N° de Kappa (K= 20), para la cual se obtuvo un apartamiento entre el *Eucalyptus globulus* y las demás especies. Por lo que se evidencia que las condiciones de cocción necesarias para el *Eucalyptus globulus* son las menores exigentes en cuanto a carga de químicos en licor blanco.

Consumo de madera

Al considerar la combinación de la densidad aparente básica de la madera y el rendimiento de pulpa en cocción Doldán et al. (2008), se incorpora un parámetro sustancial al manejo de la materia prima utilizada. El consumo de madera para generar una tonelada de pulpa seca al aire, donde *Eucalyptus globulus* se encontró en un promedio de 3,2 m³/a.d.ton, junto a las demás especies pero distanciada de *Eucalyptus grandis* que presento un consumo cercano a 4 m³/a.d.ton

2.3 CICLO DE LOS NUTRIENTES EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES

“Según Switzer et al., citados por Schumacher y Winckler Caldeira, (2001) el proceso de ciclaje de nutrientes en los ecosistemas forestales pueden ser caracterizado de tres tipos: ciclo geoquímico, que hace referencia a la entrada y salida de elementos minerales entre los diversos ecosistemas, ciclo biogeoquímico que es aquel que establece las relaciones entre suelo, planta y atmósfera, y el ciclo bioquímico que se relaciona con la transferencia interna de los elementos dentro de los procesos vegetales”.

La medición de biomasa es un instrumento útil en la evolución de los ecosistemas, en la conversión de energía y ciclaje de nutrientes, en la absorción y almacenamiento de energía solar, posibilitando conclusiones para el manejo racional de los ecosistemas (Andrae et al., citados por Schumacher y Winckler Caldeira, 2001).

Dentro de un ecosistema forestal, la capacidad productiva de un sitio sólo será mantenida en el largo plazo cuando las pérdidas de nutrientes por la erosión y la utilización de biomasa, sean devueltas en forma eficiente. Por lo que es fundamental cuantificar la biomasa producida y establecer cuanta de la misma es exportada por la cosecha. El manejo eficiente de una plantación forestal está ligado al ciclaje de nutrientes, para que ocurra un flujo continuo entre lo que es depositado en el suelo con respecto a lo que es asimilado por las raíces (Schumacher y Winckler Caldeira, 2001).

En los ecosistemas forestales los nutrientes se encuentran distribuidos en varios reservorios, tanto de la biomasa como del suelo. Los reservorios más importantes tienden a localizarse en el suelo, particularmente en la materia orgánica, en minerales no meteorizados, en el complejo de intercambio, en compuestos de baja solubilidad, o bien fijados en las arcillas. Por lo que la oferta nutricional, en un determinado momento, depende de la cantidad de nutrientes disponibles y de las tasas de reposición y liberación de los diferentes reservorios (Fernández, 2002).

Según dicho autor, en la caracterización del ciclo de nutrientes en los cultivos forestales se deben incluir los procesos que generan los aportes o entradas al sistema, las transferencias internas, y los procesos que definen la intensidad de las pérdidas o salidas, para el caso de los ecosistemas no manejados, en equilibrio, esos mecanismos se compensan y se supone que dicho ciclo opera en equilibrio dinámico.

“Según Freitas Melo et al. (1995) el manejo nutricional de una plantación forestal requiere la cuantificación de varios flujos de nutrientes en el ecosistema. En plantaciones en pie las cantidades de nutrientes existentes en el suelo y la exportada durante la exploración radicular son de gran importancia en la definición de balances de nutrientes”.

Varias características determinan las cantidades de nutrientes absorbidos por los árboles. Estas características incluyen las demandas de nutrientes por los árboles en pie, tasa de crecimiento, la eficiencia de la absorción de nutrientes desde el suelo, y la eficiencia de utilización por parte del árbol de los mismos Gonçalves et al. citados por Campos Santana et al. (2000). Los factores climáticos, tanto como las características físico-químicas del suelo, afectan la producción de biomasa por parte de las plantaciones de *Eucalyptus spp*, por lo que se vuelve relevante cuantificar la producción de biomasa, su contenido en nutrientes y la eficiencia de utilización de los mismos para el manejo de las plantaciones con criterio de sustentabilidad.

En las plantaciones de *Eucalyptus spp* existe una remoción de nutrientes del sitio en el momento de cosecha, cuya magnitud es dependiente de qué componentes de la biomasa aérea son exportados. Si los nutrientes removidos no son repuestos por fertilización, lluvia y liberación por los minerales del suelo, podría existir una reducción en la oferta de nutrientes en el suelo que limite la cosecha en las rotaciones siguientes. Una estrategia de largo plazo para el uso sostenible del suelo requiere que se conozcan las relaciones cuantitativas entre la pérdida de nutrientes en la cosecha y la biodisponibilidad del pool de nutrientes en el suelo (Spangenberg et al., 1996 citados por Campos Santana et al., 2000).

“La cuantificación de la biomasa, y la concentración de nutrientes en la misma, proveen información de la cantidad de nutrientes inmovilizados en la biomasa de las plantas y los montos requeridos para la producción anual a una tasa de producción determinada” (Shaver et al., citados por Campos Santana et al., 2000).

“Según Campos Santana et al. (1999) la cuantificación del contenido de nutrientes en plantaciones forestales y el conocimiento de la relación entre exportación y la disponibilidad de los mismos en el suelo son importantes en la definición de estrategias con vista a la sostenibilidad de los ecosistemas. En suelos con bajos tenores de nutrientes en formas disponibles y totales, la exportación de elevadas cantidades por la cosecha forestal a lo largo de las rotaciones podría llevar a la reducción de la capacidad productiva de un sitio debido a esto es necesario un mejor entendimiento del potencial productivo de diversos sitios, particularmente con respecto a las características nutricionales y su efecto en la sustentabilidad de la producción forestal”.

El contenido de nutrientes de un ecosistema se acumula en forma paulatina a partir del suministro anual, relativamente lento, proveniente de la atmósfera, más la liberación de minerales a partir del proceso de alteración mineral. Los nutrientes se distribuyen en varios reservorios, cada uno de los cuales tiene funciones y tasas de recambio específicas. Los reservorios de mayor tamaño tienden a localizarse en el suelo, ya sea en la materia orgánica no descompuesta o en las rocas que aún no han sufrido meteorización. La disponibilidad de nutrientes para los árboles es el resultado de una compleja serie de procesos interactuantes que influyen en las tasas de recambio de los reservorios. Dichos procesos incluyen el microclima, la calidad química de la materia orgánica, el estado químico general del suelo y la actividad de los microorganismos (Binkley, 1993).

“Según Goya et al. (1997) una cuestión crítica en el manejo de plantaciones forestales, es si el suelo posee una cantidad suficiente de nutrientes disponibles como

para mantener niveles aceptables de producción Actualmente se reconoce la necesidad del manejo sostenible de los recursos forestales con estrategias basadas en principios de producción sostenida y también en el conocimiento del impacto del manejo sobre los componentes del ecosistema. Desde el punto de vista biológico, el mantenimiento de la productividad puede ser logrado a través del adecuado conocimiento de la ecología de las plantaciones y su interacción e integración con la ecofisiología de la productividad forestal”.

En la actualidad es más apropiado considerar cuáles son las metas del manejo de plantaciones forestales. En este sentido, se sugiere que la meta debe ser lograr una productividad de las plantaciones no declinante o en aumento a través de las sucesivas rotaciones, manteniendo o mejorando la calidad del sitio en base a su capacidad para la disponibilidad de recursos. En este sentido los principales aspectos a considerar son la protección de la fertilidad de los suelos, manejarse dentro de límites conocidos de resiliencia del sitio. Por último, el impacto sobre la productividad del sitio debe ser controlado a través del mejoramiento de las prácticas silviculturales (Nambiar, citado por Goya et al., 1997). En fases juveniles los bosques inmovilizan la mayor cantidad de nutrientes en sus tejidos, por lo tanto en la silvicultura de especies de rápido crecimiento, manejadas con rotaciones cortas, es decir cosechadas en un tiempo menor al que el rodal alcanza un estado en el cual maximiza la conservación de los nutrientes (bosque en etapas maduras), la remoción de los mismos puede alcanzar magnitudes importantes. En este marco, el manejo de especies forestales de rápido crecimiento puede aproximarse a los efectos de un cultivo agrícola sobre la conservación de los nutrientes y la productividad del sitio (Attiwill et al., citados por Goya et al., 1997).

“La productividad de la plantación y la perpetuidad del ecosistema forestal estará íntimamente relacionada al entendimiento y al respeto del ciclaje de nutrientes y al conocimiento de las exportaciones de nutrientes” (Foelkel, 2009). Según dicho autor cuando se implanta un cultivo forestal para la utilización de la madera, se deben tener claramente definidas las metas de producir la mayor cantidad de producto, en el menor intervalo de tiempo, con la máxima eficiencia de la utilización de los recursos naturales y con el mínimo impacto ambiental. Cuando se implanta un cultivo se debe hacer esto de forma de conservar el suelo: evitar la erosión, preservar la macrovida, retener el agua del suelo, y reponer la mayoría de nutrientes que fueron exportados por la cosecha.

“Según (Judd, 1996) la pérdida de nutrientes dada por la cosecha forestal en plantaciones podría reducir la productividad de largo plazo a través de una reducción en la disponibilidad de nutrientes”. Los regímenes de manejo para bosques y plantaciones difieren en una serie de aspectos (largo de la rotación, preparación del sitio, agregado de

nutrientes), pero ambas deben incluir la cuantificación y conservación del capital de nutrientes del suelo y su disponibilidad, si la productividad quiere ser mantenida en el largo plazo. Cuando el bosque es cortado, los nutrientes son llevados en el material maderable, corteza y otros componentes, y existen pérdidas por volatilización y convección de partículas durante la quema para la regeneración, por la erosión y lavado”.

Existe una biomasa óptima naturalmente sustentable para cada sitio que depende de la disponibilidad de nutrientes, precipitaciones, capacidad de retención de agua del suelo y de las prácticas de manejo del sitio (Noble et al., citados por Geldres et al., 2006). De igual modo, el balance nutricional del sitio depende de la interacción de la especie en cuestión con factores del suelo, del clima y del manejo silvicultural Gerding y Schlatter., citados por Geldres et al. (2006). Para establecer los requerimientos nutricionales de una especie forestal es necesario estimar su potencial productivo (acumulación de biomasa), su balance nutricional en el sitio a través de las entradas y salidas de elementos nutritivos desde el rodal, como también su redistribución interna, los que pueden ser conocidos a través de los flujos y acumulación de la materia orgánica De Freitas et al., citados por Geldres et al. (2006).

2.4 FACTORES QUE AFECTAN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES DE LAS PLANTACIONES FORESTALES

Es posible identificar una serie de factores responsables del contenido de nutrientes en la biomasa forestal, los que tendrán consecuencia en las cantidades exportadas del sitio:

1. Edad de la plantación al final de la rotación.
2. Compartimento de la biomasa cosechado.
3. Distribución y contenido de nutrientes a lo largo del fuste.
4. Calidad del sitio.

2.4.1 Edad de la plantación al final de turno

En *Eucalyptus spp* se pueden encontrar diferentes estadios en el crecimiento de las plantaciones, que representan cambios importantes en los procesos de demanda de nutrientes, con su distribución y acumulación. Autores como Grove et al. (1996) han definido 3 etapas en dichos procesos.

Según dicho autor durante los primeros años ocurre un gran crecimiento del follaje con una concentración elevada de nutrientes destinada a una red de productividad primaria que abastece la demanda de nutrientes para el activo crecimiento. Hay una pequeña redistribución de nutrientes asociada con la senescencia de hojas y una gran proporción de nutrientes es retenida dentro del árbol. Este estado de crecimiento es caracterizado por el incremento en la tasa de acumulación de nutrientes, que son máximos al tiempo de cierre de copa. El crecimiento parece estar limitado por el suministro de nutrientes del suelo y la capacidad de exploración radicular.

El mismo autor identifica una segunda etapa la cual puede ser diferenciada en donde la biomasa foliar se estabiliza y la formación de duramen consume mayor parte de los productos primarios de la fotosíntesis. El contenido de nutrientes del duramen es relativamente bajo, y la tasa de acumulación de nutrientes en el árbol por tanto decrece. Durante esta etapa, la exploración del volumen de suelo por parte de las raíces finas estará al máximo, y el proceso del ciclo de nutrientes se desarrollará por completo. A su vez se define una tercera etapa en el crecimiento dónde la mayoría de los productos primarios de la fotosíntesis son destinados al mantenimiento en pie de las plantaciones.

“Según Sheriff et al., citados por Grove et al. (1996) la partición de la biomasa aérea entre hojas y restos de biomasa es relativamente constante con el tiempo. De todas maneras, tronco y ramas crecen a una tasa mayor que otras partes de la planta y por lo tanto forman una proporción mayor de materia seca, particularmente siguiendo el cerrado de copa cuando la biomasa foliar se vuelve estable. Consecuentemente, la proporción de biomasa aérea seca y los nutrientes contenidos dentro de las hojas decrecen con la edad”.

Se han cuantificado diferencias marcadas en la distribución de la materia seca, P y Ca en relación al tamaño del árbol para una plantación madura, donde el duramen contenía menos del 10% de los nutrientes del árbol. En este estudio, el duramen y corteza contenían gran parte de los nutrientes contenidos en los árboles (Grove et al., 1996).

En una evaluación de 7 años de plantaciones de *Eucalyptus grandis* Jurado Bellote et al. (1980) encontraron que la acumulación de los distintos nutrientes en los distintos compartimentos de la biomasa fue diferente con la edad de la plantación (cuadro 4).

Cuadro 4. Evolución del contenido de nutrientes en una plantación de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden desde la etapa juvenil a final de turno.

Nutrientes	Compartimentos			
	Hojas	Base	Tronco Medio	Ápice
		----- gr -----		
N	NA	↑	↑	máx. a 6 años
P	NA	↑	↑	máx. a 6 años
K	NA	máx. a 4 años	↑	↑
Ca	NA	↑	↑	↑

NA: No se ajustó ecuación de regresión (no se encontró tendencia clara).

↑: incremento lineal hacia final de turno.

Fuente: adaptado de Jurado Bellote et al. (1980).

Para dicho estudio Se ajustaron diferentes ecuaciones para cada nutriente por compartimento evaluado en función de la edad de las plantaciones; para el caso de las hojas no se encontró una tendencia determinante que permitiera ajustar algún modelo de regresión, para el caso del fuste la mayoría de los nutrientes presentaron una tendencia lineal creciente con el aumento de la edad, la excepción fue el K para la base del fuste que presentó el contenido máximo a los 4 años, y para N y P en el ápice presentó el máximo a los 6 años.

Por otro lado en Brañas et al. (2000) se encontraron pequeñas diferencias entre plantaciones jóvenes y adultas para los diferentes nutrientes. A su vez, se encontraron en las plantaciones jóvenes niveles algo más elevados de N, mientras que en las más maduras se observaron concentraciones más elevadas de Ca y Mg.

Otros autores como Wise y Pitman (1981) encontraron que la extracción de nutrientes por parte de plantaciones de *Eucalyptus spp* en sistemas de rotaciones cortas (10 años) en Australia es mayor que en rotaciones más largas, pero menores que en cultivos agrícolas. En dicho trabajo se relacionaron dichas diferencias con la retención en hojas, ramas, y corteza en el sitio, y al desarrollo de una gran proporción de duramen en las plantaciones más adultas con respecto a las rotaciones más cortas. A su vez Laclau et al. (1999) sostiene que en la transferencia interna la albura es más rica en nutrientes en relación al duramen, lo cual tiene impacto sobre la duración de la rotación.

A medida que avanza la edad, los árboles bajan la relación albura/duramen, por lo que significaría una mayor eficiencia en la utilización de nutrientes. En apoyo a lo anterior se suma lo observado por Cromer et al. (1987) citado por Fernández (2002), los cuales indican que la formación del duramen comienza en el entorno a los 8 años, con lo cual cosechas a edades menores no serían muy convenientes desde el punto de vista de la conservación de los nutrientes en el suelo. A su vez en Fernández (2002) se observa que a medida que se incrementa el período de rotación, se incrementa la eficiencia de utilización de los nutrientes, dado que disminuye la cantidad de unidades de nutrientes por unidad de biomasa.

Se observaron cambios significativos en el contenido de los diferentes nutrientes de acuerdo a la etapa de desarrollo de una plantación de *Eucalyptus grandis* Frangi et al. (1999) citado por Fernández (2002). Según dicho estudio, el cual destacó el impacto sobre el balance de nutrientes en caso de acortarse el actual período de rotación, se observó que el costo nutritivo, o sea los kg de nutriente/kg de biomasa producida, fueron mayores para rotaciones de 8 años que para las de 29 años (Figura 3).

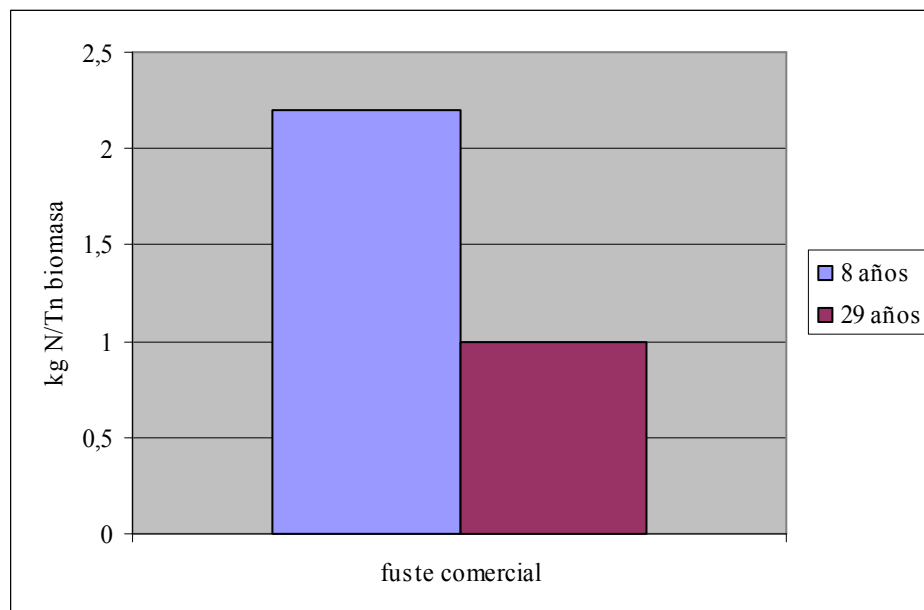


Figura 3. Extracción de N en una plantación de *Eucalyptus grandis* según la edad. Fuente: adaptado de Fernández (2002).

Por su parte (Ericsson et al., citado por González, 2008) sostiene que los ciclos de cosecha cortos asociados con alta concentración de nutrientes en tejidos, incrementaron las pérdidas de nutrientes por unidad de tiempo y superficie.

En otro trabajo realizado por Frederick et al. (1985) se evaluó la acumulación de nutrientes en 5 plantaciones de *Eucalyptus regnans* que fluctuaban entre los 4 y 17 años de edad (cuadro 5). Es importante tener en cuenta que las plantaciones evaluadas no fueron las mismas a lo largo del tiempo, por lo que el efecto suelo y genético debe considerarse al momento de observar los resultados.

Cuadro 5. Evolución de la biomasa comercial, contenido total de nutrientes, y eficiencia de uso de los nutrientes en cinco plantaciones de *Eucalyptus regnans* de diferentes edades.

	Edad (años)				
	4	7	10	13	17
Biomasa m.c (Mg ha ⁻¹)	42,2	142,7	242,9	228,2	381,8
Nutriente (kg ha ⁻¹)					
N	41,5	113,1	236,1	156,1	208,7
P	6,6	15,8	32	18	36,2
K	66,1	173,9	277,4	241,5	214,8
Ca	19,2	52,2	103,4	81,6	106,9

mc: madera comercial.

Fuente: adaptado de Frederick et al. (1985).

A partir de los resultados obtenidos, se observó un aumento en la acumulación total de biomasa, la extracción de nutrientes presentó un incremento para N, e incremento hasta los 10 y de oscilación para los siguientes años para P, K, y Ca, se deben considerar las diferencias ambientales y genéticas en el análisis de los datos ya que se trataban de diferentes plantaciones con diferente edad.

En la evaluación de la dinámica de nutrientes en una plantación clonal de *Eucalyptus spp* entre el primer y el séptimo año en Laclau et al. (1999), se encontraron dinámicas diferentes para la acumulación de biomasa y de nutrientes. La acumulación de P y de Ca fue proporcional a la biomasa total durante la rotación, el Mg fue mayormente acumulado durante los primeros 2 años, en tanto que 50 % del N y 65% del K se habían acumulado para los dos años de instalado. Para el caso específico de la madera, la edad tuvo un efecto significativo en la concentración de nutrientes, excepto para Ca. Dicho efecto fue la reducción sistemática de la concentración en todos los elementos durante el

ciclo de crecimiento, y siendo particularmente marcado en el caso de K. Dicho trabajo fue realizado en suelos ferralíticos, altamente desaturados, de texturas arenosas u arenocilicosa.

2.4.2 Compartimento de la biomasa cosechado

En Schumacher et al. (2001) en una evaluación de plantaciones de *Eucalyptus maidenii* a los 4 años de edad, se encontró la distribución en los contenidos de nutrientes de los componentes de cosecha que se indica en el cuadro 7.

Cuadro 6. Biomasa y contenido medio de nutrientes en los diferentes compartimentos de la biomasa aérea de *Eucalyptus maidenii*.

Componente	Biomasa (Mg ha ⁻¹)	N	P	K (kg ha ⁻¹)	Ca	Mg
Hojas	10,5	8,0	8,1	76,9	115,9	20
Ramas	8,0	9,6	2,0	34,5	46,6	6,4
Madera	57,6	69,1	5,2	92,1	63,3	23
Corteza	7,1	15,7	2,7	26,4	280,3	17,8
Total	83,3	102,4	18,0	229,9	506,1	67,2

Fuente: adaptado de Schumacher et al. (2001).

El estudio fue realizado en la municipalidad de Butia-RS (Brasil), el clima es caracterizado como subtropical húmedo, con temperatura media anual de 19,3 °C y una precipitación media anual de 1322 mm. El suelo es del tipo Argisol amarillo oscuro.

En otro estudio Brañas et al. (2000) en *Eucalyptus globulus* entre los 14 a 18 años de edad concluyeron que la madera es la fracción que cuenta con las concentraciones más bajas de todos los elementos, a su vez la fracción foliar contiene los niveles más elevados de N, P y K, mientras que la corteza presenta los niveles de concentración más elevados de Ca y Mg.

Cuadro 7. Biomasa total y contenido medio de nutrientes en los diferentes compartimentos de la biomasa aérea de plantaciones de *Eucalyptus globulus* entre los 14 a 18 años de edad.

Componente	Biomasa (Mg ha ⁻¹)	N	P	K (kg ha ⁻¹)	Ca	Mg
Hojas	20,8	266	4,5	119,9	134,1	16
Ramas	22	59	2	61,9	47,8	6,8
Ramillos	5,6	26	0,7	28,1	26,4	3
Madera	258,4	106	13,4	309,5	167,9	21,9
Corteza	33,1	85	3,4	115,5	308,9	37,3
Total	339,9	542	24	634,9	685,1	85

Fuente: adaptado de Brañas et al. (2000).

Los suelos sobre los que se asientan están desarrollados sobre coluviones de pizarra, esquistos pizarrosos o pizarras con granitos o cuarcitas, formados en su mayoría por un horizonte A úmbrico sobre un B cámbico, con una profundidad explorable aproximada de 50 y 70 cm. Los suelos se definieron como Cambisoles húmicos.

Para *Eucalyptus regnans* de 10 años de edad Frederick et al. (1985) encontraron las siguientes extracciones de nutrientes en los diferentes componentes de la biomasa.

Cuadro 8. Biomasa total y contenido medio de nutrientes en los diferentes compartimentos de la biomasa aérea de *Eucalyptus regnans* de 10 años de edad.

Componente	Biomasa (Mg ha ⁻¹)	N	P	K (kg ha ⁻¹)	Ca	Mg
Hojas	15,5	270,4	20	97,6	92,5	29,4
Ramas	28,5	92	14,4	92,6	124,7	27,6
Madera	242,9	236,1	32	277,4	103,4	34
Corteza	19,1	63,7	9,7	129,9	265,2	37,1
Total	306	662,2	76,1	597,5	585,8	128,1

Fuente: adaptado de Frederick et al. (1985).

A nivel nacional en González (2008) encontró las siguientes extracciones de nutrientes en las distintas fracciones de biomasa área para *Eucalyptus globulus*.

Cuadro 9. Producción de biomasa aérea y extracción de nutrientes de los diferentes compartimentos de la biomasa de una plantación de *Eucalyptus globulus* de 10 años de edad.

Componente	Biomasa Mg ha ⁻¹	N	P	K kg ha ⁻¹	Ca	Mg
Hojas	2,3	31,7	31,7	10,3	29,6	2,3
Ramas	12,8	26,2	0,9	47,9	113,9	12,5
Madera	106,7	43,8	5,4	34,6	138,3	25,8
Corteza	15,8	36,3	4	87,1	479,6	37,9
Total	137,6	138	42	179,9	761,4	78,5

Fuente: adaptado de González (2008).

En dicho trabajo se encontró que el 77 % de la biomasa aérea producida corresponde a las trozas y el 23 % restante a los restos de cosecha dejados en el sitio. A su vez se evaluó la concentración de cada nutriente en cada fracción de biomasa.

Cuadro 10. Producción de biomasa y concentración de nutrientes de los diferentes compartimentos de la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus globulus* de 10 años de edad.

Componente	Biomasa Mg ha ⁻¹	N	P	K g kg ⁻¹	Ca	Mg
Hojas	2,3	13,5	0,7	4,5	13	1
Ramas	12,8	12,1	0,31	12,6	34,2	3,5
Madera	106,7	0,4	0,05	0,4	1,3	0,2
Corteza	15,8	2,3	0,25	5,5	30	2,4
Total	137,6	28,3	1,31	23	78,5	7,1

Fuente: adaptado de González (2008).

Las trozas presentaron para todos los nutrientes las menores concentraciones, las hojas las mayores concentraciones para N y P mientras que las ramas y la corteza presentaron los mayores valores para Mg y Ca.

En los perfiles, el primero se asocia en la descripción de suelos CONEAT al grupo 9.3 y el segundo a 09.3. Ambas descripciones y análisis fueron realizados dentro de las plantaciones.

A su vez para *Eucalyptus dunnii* Hernández et al. (2009) se presentan la siguiente concentración de nutrientes, extracción de los mismos por hectárea en una plantación de 9 años.

Cuadro 11. Producción de biomasa y concentración de nutrientes de los diferentes compartimentos de la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus dunnii* de 9 años de edad.

Componente	Biomasa (Mg ha-1)		N		P		K		Ca		Mg	
			g kg ⁻¹									
Mad. com.	144	(2,6)	0,9	(0,12)	0,1	(0,07)	0,6	(0,15)	1,7	(0,82)	0,7	(0,14)
Mad. no com.	28	(5,0)	1,2	(0,39)	0,2	(0,04)	1,9	(0,38)	2,8	(0,62)	1,0	(0,27)
Corteza	29	(4,1)	2,4	(0,27)	0,4	(0,14)	4,7	(0,74)	27,3	(2,88)	2,2	(0,53)
Ramas	22	(2,5)	3,5	(0,32)	0,3	(0,06)	4,7	(0,83)	9,5	(1,97)	1,1	(0,41)
Hojas	13	(2,1)	14,2	(1,04)	1,0	(0,08)	7,4	(0,31)	14,5	(3,39)	2,2	(0,73)
T. cosechado	236											

Fuente: adaptado de Hernández et al. (2009).

Cuadro 12. Producción de biomasa y extracción de nutrientes por hectárea de los diferentes componentes de la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus dunnii* de 9 años de edad.

Componente	Biomasa (Mg ha-1)		N		P		K		Ca		Mg	
			kg ha ⁻¹									
Mad. com.	144	(2,6)	132	(33,0)	19	(6,7)	86	(26,9)	240	(91,6)	98	(10,7)
Mad. no com.	28	(5,0)	34	(13,6)	34	(1,5)	55	(10,8)	77	(22,2)	28	(10,3)
Corteza	29	(4,1)	70	(3,7)	70	(2,4)	134	(35,7)	783	(109,3)	62	(8,9)
Ramas	22	(2,5)	76	(7,5)	76	(1,4)	101	(23,2)	206	(35,7)	24	(8,5)
Hojas	13	(2,1)	184	(31,3)	184	(2,3)	96	(15)	188	(65,2)	29	(10,9)
T. cosechado	236		496		55		472		1494		241	

Fuente: adaptado de Hernández et al. (2009).

El estudio fue realizado en un Argisol franco arenosos de la unidad Algorta.

2.4.3 Distribución y contenido de nutrientes a lo largo del fuste

En González (2008) en *Eucalyptus globulus* se analizaron las concentraciones de nutrientes a lo largo del fuste y se observó que la distribución de los mismos fue relativamente homogénea, encontrando para N una muy pequeña disminución hacia el ápice, y para K un ligero incremento hacia el ápice.

En otro trabajo a nivel nacional se estudio la distribución de los nutrientes N, P, K, Ca y Mg, en plantaciones de *Eucalyptus grandis* previo a cosecha, de 10 y 12 años de edad. (Giosa, 2009).

En el caso de N se presento con una distribución de leve descenso hacia la altura media y a partir de esta de incremento hacia el apice. Para el caso del P y Mg presentaron un incremento desde la base hacia el ápice, el K presento similar distribución pero con un incremento más leve en la zona media. El Ca presentó una distribución descendente desde la base hacia el ápice.

2.4.4 Calidad del sitio

“Según Noble y Herbert, citados por Geldres et al. (2006) cada sitio presenta una biomasa óptima sustentable, la cual depende de: la disponibilidad de nutrientes, precipitaciones, capacidad de retención de agua del suelo y de las prácticas silvícolas”.

En Campos Santana et al. (2000) estudiando el contenido de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus spp* en distintos sitios encontraron que el contenido de nutrientes en la madera era mayor en los sitios más productivos, mostrando una estrecha relación con la producción de biomasa, sin embargo los sitios más productivos presentaron una mayor relación kg de materia seca / kg de nutriente. Las condiciones climáticas son determinantes de la producción de materia seca de las plantaciones forestales, las diferentes condiciones de disponibilidad de agua y de nutrientes dadas por las diferentes características físico químicas de los suelos y del régimen de lluvias resulto relevante en la productividad de los diferentes sitios.

En Campos Santana et al. (1999) se evaluó la biomasa y nutrientes de *Eucalyptus saligna* en diferentes sitios. Se observó que los sitios difieren en su capacidad productiva, encontrando una mayor productividad en aquellos sitios con suelo arcilloso, con mayor nivel de K intercambiable y reservas de nutrientes. A su vez el contenido de nutrientes en la madera fueron mayores en los sitios más productivos y en los materiales

genéticos mejor adaptados a estas condiciones, la cual evidenció una estrecha relación entre producción de biomasa y contenido de nutrientes de los árboles.

2.5 IMPACTO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

En Frederick et al. (1985) en una evaluación plantaciones de *Eucalyptus regnans* entre los 4 y 17 años de edad se encontraron variaciones considerables en la concentración de los nutrientes en el suelo las cuales no estaban relacionadas con la edad a excepción de P, que decreció en los primeros 20 cm del suelo mineral con la edad de las plantaciones. La disponibilidad de P no estuvo relacionada con otras propiedades del suelo como acidez, nivel de cationes, o de materia orgánica. A su vez se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la concentración de nutrientes entre 20-40 cm lo cual refleja diferencias entre sitios más que efectos propios de la vegetación.

En Wise et al. (1981) en 6 especies de *Eucalyptus spp* se evaluaron rotaciones cortas de 10 años, se compararon los nutrientes removidos por la cosecha y el status de los mismos en el suelo, esta última reveló algunos indicios de la magnitud de la remoción de nutrientes en relación a la disponibilidad de reservas de nutrientes en el suelo. Dadas las cantidades de nutrientes extraídas, Ca y K parecen ser los primeros en volverse limitantes en varios sitios en la serie de 10 años. A su vez (Turvey, citado por Wise et al., 1981) encontraron un descenso de Ca intercambiable entre los 4 y 14 años de una plantación de *Eucalyptus grandis*. Esto se relaciono altamente con la cantidad de Ca acumulada en la biomasa.

En Delgado et al. (2006) el estudio de las propiedades químicas de 12 sitios forestales resultó en un menor pH, más aluminio intercambiable y menor saturación en bases que los mismos suelos bajo manejo de pasturas. En 7 casos estudiados, el carbono orgánico mostró una tendencia a la disminución en la parte superior del horizonte A, en otros horizontes no se encontraron resultados claros, aunque en algunos sitios se observó una tendencia hacia el aumento de carbono orgánico en la base del A o inicio del B en los suelos forestados, comparados con los que permanecen bajo la pastura original.

En Jobbagy et al. (2003) estudiando los patrones y mecanismos de acidificación del suelo en la conversión de pasturas naturales a suelos forestales, se encontraron que los valores de pH en el suelo decrece una unidad en los primeros 20 cm. Los autores identifican tres mecanismos complementarios de acidificación de los suelos bajo forestación: presencia de ácidos orgánicos, secuestro de cationes y redistribución en el perfil, e incremento de la respiración del suelo. Con respecto a las bases de intercambio, el Ca es un 40% menor en el suelo forestal, el Na tiene un comportamiento opuesto y el

Mg junto con el K desarrollan un comportamiento errático. A su vez encuentran diferencias en el patrón de distribución vertical de los nutrientes hasta 1 metro de profundidad bajo forestación, menor pH entre 5-50 cm, con los valores más bajos entre 10-35 cm. Con respecto a la CIC, encuentran que es menor en la forestación, las diferencias desaparecen después de 50 cm. Según el autor con la excepción de Na se produjeron pequeños cambios en el pool general de cationes hasta un metro de profundidad. Las diferencias entre elementos en los dos ecosistemas sugieren una ganancia neta después del establecimiento de la forestación para Ca y Na. A su vez cuando el suelo mineral es analizado por perfil, existen cambios en la distribución de los cationes en el perfil. Todos los sitios ganan Ca hasta los 5cm y pierden este último entre los 5-50cm y la diferencia entre los 5-50 cm exhiben menor pool de Ca y Mg intercambiable y no intercambiable en plantaciones. En contraste el Na fue hasta 3 veces superior en la plantación.

En Pereira (1996) se evaluaron los cambios en las propiedades de suelos bajo plantaciones de *Eucalyptus globulus* y bajo vegetación nativa. La materia orgánica fue variable y no fue posible establecer alguna tendencia clara, mencionando la presencia de capas u horizontes orgánicos y la preparación del terreno como los factores más relevantes en determinar el contenido de materia orgánica. La relación C/N en suelos bajo las plantaciones fue superior con respecto a la vegetación nativa. Para el caso de los cationes intercambiables, y en especial el Ca, fueron menores bajo las plantaciones que bajo la vegetación nativa, y consecuentemente el pH fue menor y el Al intercambiable mayor bajo las mismas. De todas maneras la disminución del Ca fue mayor en los primeros 20 cm del suelo. Dicho autor sugiere que los cambios en la química del suelo bajo *Eucalyptus globulus* esta relacionada con la baja concentración de cationes intercambiables especialmente Ca, manejo del sitio y características de la especie. Para el caso de Ca se concluye que una importante cantidad del mismo es transferido desde el horizonte superficial hacia la biomasa aérea y posteriormente hacia el nuevo horizonte orgánico de la plantación.

En Cabrera y Cal (2007) se evalúa el impacto del pasaje de uso pastoril a forestal para *Eucalyptus grandis* en las propiedades físico químicas de suelos de la unidad Rivera. Dichos autores encontraron que el pH en agua es menor bajo forestación, del orden 0.5 unidades en el horizonte A y de 0.3 en el Bt. El contenido de Al intercambiable aumenta en suelos bajo las plantaciones, un 146% en el A y 72% en el Bt. El contenido de bases de intercambio fue menor bajo la forestación. Para el promedio de sitios la disminución en el A fue de 46% y de 26% en Bt. La disminución de bases para dicho estudio en el horizonte A fue: Ca>Mg>K>Na; y en el Bt: K>Ca>Mg>Na. La CIC a pH del suelo no tuvo un comportamiento claro para las dos situaciones, el contenido de carbono orgánico no mostró estar claramente afectado por el cambio de uso.

2.6 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE *Eucalyptus globulus* EN LA ZONA ESTE DEL PAÍS

A continuación se puede observar la distribución de dicha especie sobre basamento cristalino en los suelos del este del país.

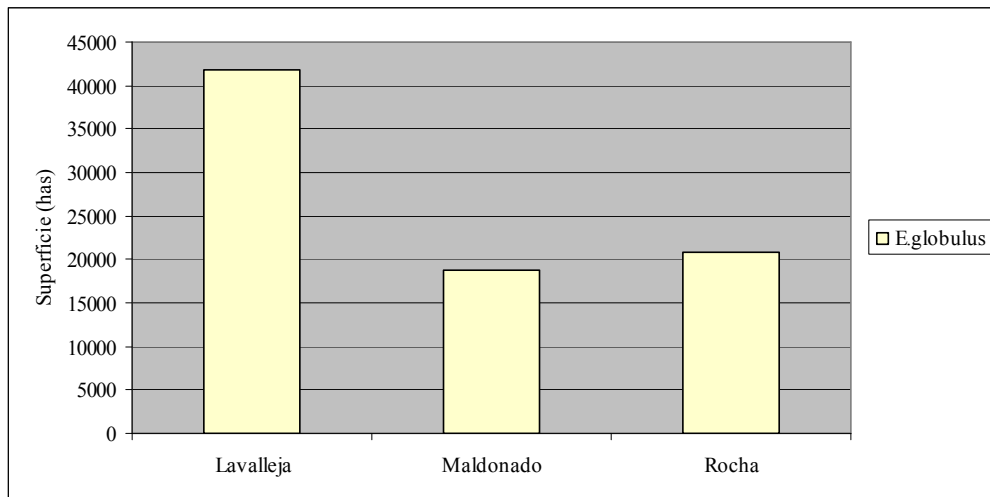


Figura 4. Distribución de plantaciones comerciales de *Eucalyptus globulus* en los departamentos de la zona este del país. Fuente: adaptado de Dell Acqua et al. (2006).

El departamento de Lavalleja presenta la mayor superficie ocupada por *Eucalyptus globulus* seguidos por Rocha, Maldonado y Cerro Largo.

2.7 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE PRIORIDAD FORESTAL EN LA ZONA ESTE DEL PAÍS SOBRE BASAMENTO CRISTALINO

2.7.1 Superficie de prioridad forestal para los departamentos del este del país sobre basamento cristalino

Se resume la distribución y superficie ocupada por los grupos de suelos 2.11a, 2.11b, 2.12 en la zona este del país, por departamento.

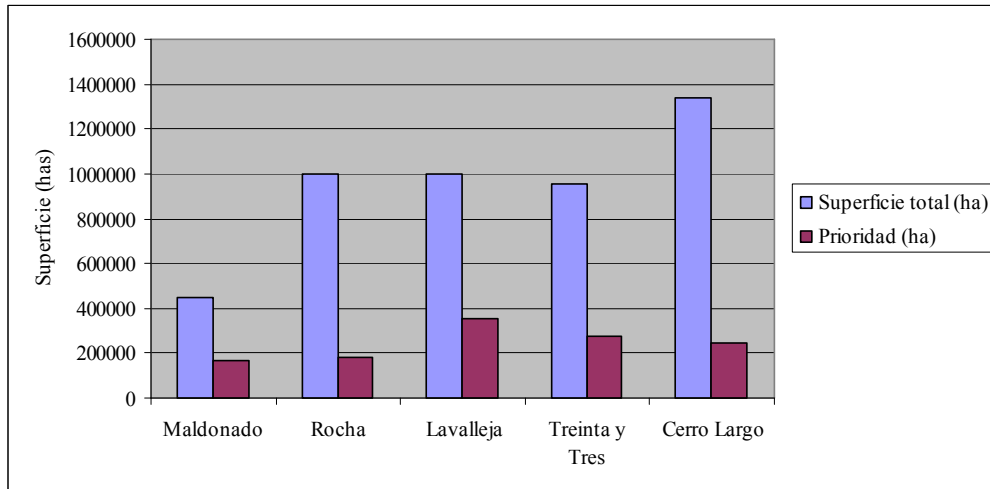


Figura 5. Superficie de suelos de prioridad forestal en los departamentos del Este del país. Fuente: adaptado de URUGUAY. MGAP. PRENADER (s.f).

2.7.2 Descripción de los grupos de suelos Coneat

A continuación se puede observar la distribución de los principales suelos de prioridad del Este sobre basamento cristalino

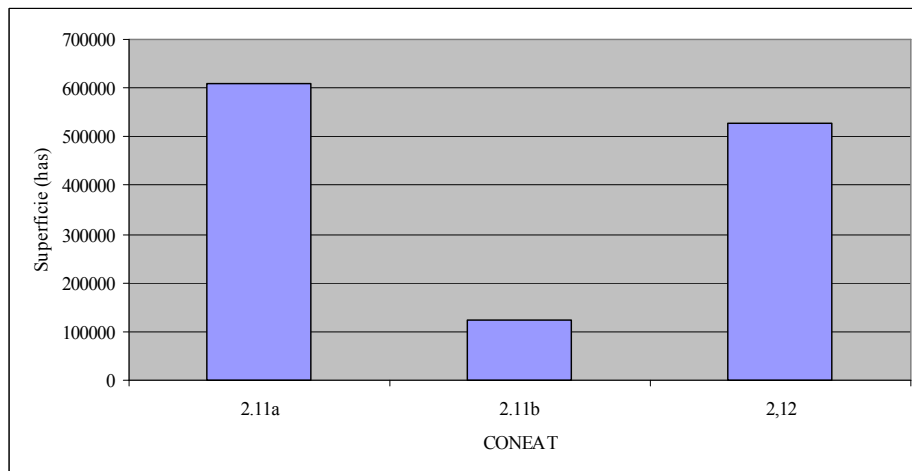


Figura 6. Superficie de suelos de prioridad forestal por grupos de suelos CONEAT para los departamentos del Este. (Rocha, Lavalleja, Maldonado, Treinta y tres y Cerro largo). Fuente: adaptado de URUGUAY. MGAP. PRENADER. (s.f)

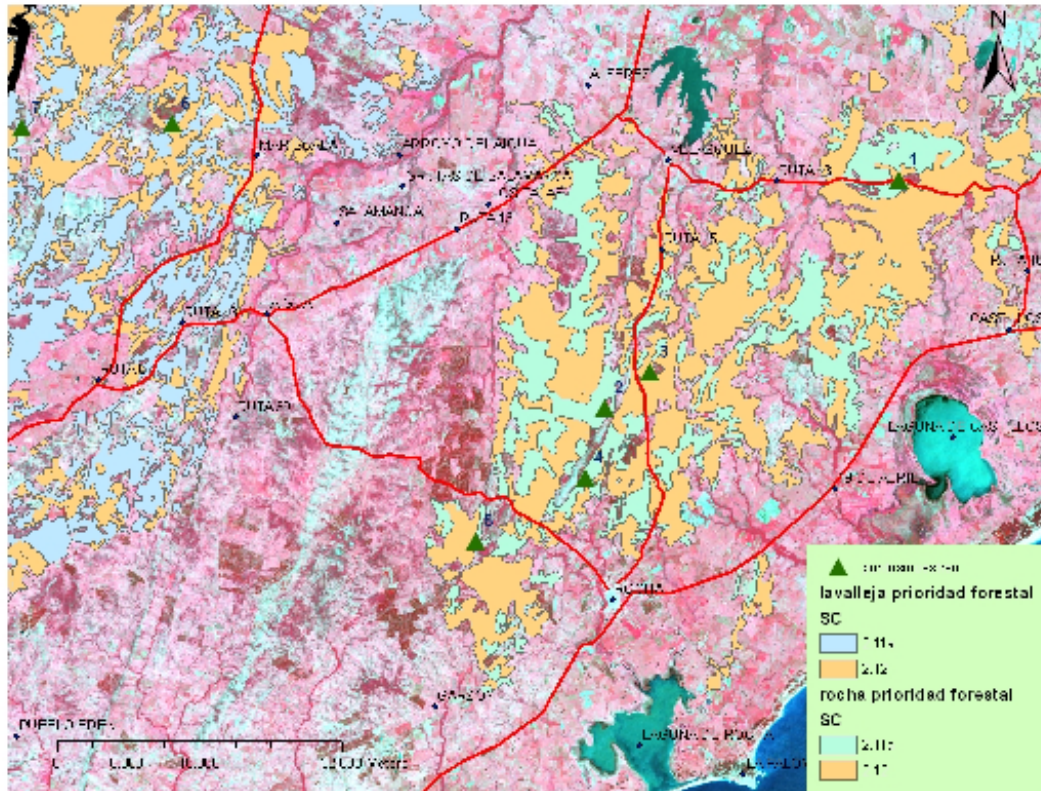


Figura 7. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo y distribución de suelos de prioridad sobre basamento cristalino en la zona Este. Fuente: elaboración propia Arcview 3.2 en base a URUGUAY. MGAP. CONEAT (s.f), INPE (2008). 2.11a

El grupo incluye sierras rocosas con paisaje ondulado fuerte y pendientes entre 5 y 20%. Los materiales geológicos están constituidos básicamente por rocas ígneas, metamórficas y algunas efusivas ácidas, y la rocosidad puede alcanzar niveles de hasta el 10%. En este grupo, se establecen dos regiones con asociaciones de suelos diferentes: la que interesa para los objetivos de este trabajo esta ubicada en la región sur, abarcando los departamentos de Lavalleja, Maldonado, Rocha y parte de Treinta y tres. Los suelos dominantes son Brunosoles Subéuticos Háplicos, de textura arenoso franco gravillosos y franco gravillosos, superficiales, pedregosos. Asociados a estos, ocurren Brunosoles Subéuticos Típicos, francos, moderadamente profundos, a veces profundos (Praderas Pardas moderadamente profundas), en algunos casos a contacto lítico; y Litosoles Subéuticos Melánicos, areno gravillosos, a veces pedregosos y muy superficiales; con afloramientos rocosos. Los Brunosoles (Háplicos y Típicos) ocupan en conjunto mas del 70% del área y se desarrollan entre los afloramientos de rocas fundamentalmente migmatitas y granitos intrusivos, en tanto que los Litosoles ocurren próximos a los

afloramientos, o en las áreas más rocosas de la unidad, URUGUAY. MGAP. PRENADER (s.f).

2.11b

El grupo incluye sierras rocosas con paisaje ondulado fuerte y pendientes mayores al 20%. En el primer caso existe en manchas discontinuas, correlacionado con granitos intrusivos, donde el porcentaje de rocosidad alcanza entre 10 y 40% del área con roca expuesta. Los suelos dominantes son Litosoles Subéutricos Melánicos, areno gravillosos, a veces pedregosos y muy superficiales; con afloramientos rocosos y Brunosoles Subéutricos Hápticos, arenoso franco gravillosos y franco gravillosos, superficiales, pedregosos. El paisaje es quebrado con pendientes superiores al 15% que pueden alcanzar valores de 30 a 40%. En general, en la asociación de suelos, predominan los superficiales (Litosoles Subéutricos Dístricos) existiendo en las concavidades y gargantas, suelos profundos, de origen coluvial que normalmente contienen monte serrano de alta densidad, URUGUAY. MGAP. PRENADER (s.f).

2.12

El grupo incluye sierras no rocosas de relieve ondulado y ondulado fuerte, con afloramientos en general menores de 5% y pendientes variables entre 5 y 15%. Los suelos son Brunosoles Subéutricos Hápticos y Típicos, arenoso francos y francos, algunas veces arenosos franco gravillosos, superficiales y moderadamente profundos. Asociados a estos, se encuentran Litosoles Subéutricos Melánicos, arenoso-franco-gravillosos, a veces muy superficiales y pedregosos y Brunosoles Subéutricos Lúvicos, francos u ocasionalmente arenoso-francos, a veces ródicos. La vegetación es de pradera de ciclo predominantemente estival, a veces con matorral y monte serrano asociado, en general en las gargantas y zonas cóncavas. El uso actual es pastoril. Ocupa grandes extensiones en los Dptos. de Maldonado, Lavalleja, oeste de Treinta y Tres y suroeste de Cerro Largo, URUGUAY. MGAP. PRENADER (s.f).

2.7.3 Clasificación de suelos DSF-MGAP asociados a las zonas relevadas

2.7.3.1 Suelos poco desarrollados

Litosoles

Según Duran y García Prechác (2007) los litosoles son los suelos más comunes del Orden y aparecen como dominantes y asociados en las sierras cristalinas, tales son ejemplo de las zonas evaluadas en el presente trabajo las unidades Sierra de Polanco y

Santa Clara. El perfil presenta una secuencia de horizontes A-R, aunque muy ocasionalmente puede existir un delgado horizonte B (iluvial) o no pero situado a tan poca profundidad que sería eliminado por operaciones convencionales de labranza. Dicho horizonte B, cámbico o argilúvico, no se considera diagnóstico del punto de vista taxonómico para evitar que suelos similares se clasifiquen de distinta manera según sean vírgenes o cultivados. Por debajo de los horizontes edafizados aparece directamente la roca consolidada, aunque a veces esta puede presentar su parte superior parcialmente desintegrada en un material gravilloso grueso que constituye un delgado horizonte C. Aun en este caso, el suelo debe presentar un contacto lítico a 30 cm o menos de profundidad, según la definición del Gran Grupo. El horizonte A de los litosoles puede presentar grandes variaciones en morfología y propiedades físicas y químicas. El espesor es, por definición, igual o menor a 30 cm y puede ser de apenas 2 o 3 cm como ocurre en algunos perfiles desarrollados sobre rocas muy resistentes a la meteorización. La textura varía desde muy liviana (franco arenosa o arenosa franca) hasta arcillo limosa, en relación a la naturaleza del material generador. En las sierras cristalinas, la textura es media a liviana (franca, franco arenosa).

Algunos litosoles de las sierras cristalinas poseen niveles bastante altos de materia orgánica pero su capacidad de intercambio y/o su saturación de bases son bajas. Como consecuencia el horizonte superficial puede ser melánico, ócrico o úmbrico, aunque este último no es tan común como los dos primeros. Los materiales parentales de los litosoles son entre otros de naturaleza metamórfica: granitos, cuarcitas, filitas y algunos gneisses Duran y García Prechác (2007). Desde el punto de vista geomorfológico los litosoles son comunes en los niveles de aplanamiento más antiguos de las sierras cristalinas pero la extensión mayor corresponde a las áreas de relieve más energético presumiblemente originadas por la disección de las superficies mencionadas.

Litosoles melánicos

Son Litosoles de color oscuro y alta saturación en bases (horizonte melánico) pero cuya textura no es muy fina y a la vez la arcilla no es predominantemente esmectita por lo carece de caracteres vérticos. Tampoco poseen contenidos elevados de hierro libre lo que se refleja en colores pardos oscuros a negros pero sin tonalidades rojizas u ocráceas, lo que explica la exigencia de color de matriz más amarillo de 7,5 YR.

Litosoles ócricos

Son suelos cuyo horizonte superficial es de color claro y a veces muy delgado para ser melánico, pero su saturación en bases es relativamente elevada y carece de colores indicativos de niveles elevados de hierro libre. Estos se desarrollan en zonas serranas sobre rocas ígneas y metamórficas del zócalo cristalino.

Litosoles dísticos

Estos poseen un horizonte superficial de colores claros u oscuros, pero de baja saturación de bases y con colores similares a los anteriores. Su área de ocurrencia es similar a la de éstos, pero mayormente parecen ubicarse en superficies más antiguas, o desarrollarse a partir de rocas más pobres en bases.

Cambisoles

Según dichos autores los mismos son suelos poco desarrollados de mayor profundidad que los litosoles, textura más fina que los arenosoles y sin la estratificación de origen aluvial de los fluvisoles. Se trata de suelos predominantemente eluviales en todos sus horizontes, que están perdiendo materiales como sílice, alúmina, etc. Los mismos muestran evidencias diversas de desarrollo edafogénico: acumulación de materia orgánica, alteración de minerales primarios y neoformación de minerales secundarios.

Los cambisoles presentan horizontes superficiales minerales de diferente naturaleza y los horizontes subsuperficiales (B), si existen, no son de naturaleza iluvial. Pueden poseer un horizonte cámbico de alta o baja saturación de bases. Si existe una acumulación secundaria de arcilla, ésta es muy débil como para constituir un horizonte argilúvico. Los mismos ocurren en unidades de interés para este trabajo como Sierra Polanco, y Santa Clara.

Los materiales geológicos que dan origen a estos suelos son bastantes variables pero todos tienen en común su resistencia a la meteorización y edafización: rocas ígneas intrusivas alcalinas, y ciertas rocas metamórficas.

Según Duran y García Prehác (2007) geomorfológicamente, los cambisoles ocupan terrenos de formas y orígenes muy diversos pero caracterizados por ser áreas de erosión y no de acumulación, lo que favorece la ablación que mantiene al suelo en un grado de desarrollo incipiente o moderado. La naturaleza del material generador contribuye a menudo a atenuar la evolución del perfil. Debido a los factores mencionados, los cambisoles son moderadamente profundos y en muchas áreas se asocian a Litosoles y otros suelos de escasa profundidad. La secuencia de horizontes es A-C o A-B-C, en las que el horizonte diagnóstico superficial es úmbrico u ócrico o menos frecuentemente melánico, y el horizonte B, si está presente, es cámbico. La saturación de bases es casi siempre baja, aunque puede ser alta en el horizonte

superficial cuando este es melánico, en tal caso el horizonte cámbico o el horizonte C subyacentes son, por definición, de baja saturación en bases. El horizonte A es normalmente de textura media a liviana (franco a franco arenoso), a veces con contenido elevado de gravas, el color es muy variable, relacionado a la textura y al tenor de humus. Los horizontes inferiores pueden ser de textura algo más fina, en tanto el color se hace más claro, especialmente si existe un horizonte cámbico. El termino cambisol es connotativo de la presencia de un horizonte cámbico o, alternativamente, de un horizonte C no muy diferente en sus propiedades al concepto central de horizonte cámbico.

Cambisoles dístricos

Son suelos netamente eluviales como lo indica su baja saturación en bases en todo el perfil. Estos suelos están presentes en algunas zonas serranas de relieve escarpado, como ocurren en las asociaciones Sierra de Polanco y Santa Clara. Existen evidencias de que estos suelos ocupan áreas menores asociadas a suelos más desarrollados y de saturación de bases no necesariamente baja.

Cambisoles éutricos

Son aquellos suelos cuyo horizonte subsuperficial es de alta saturación de bases aunque el superficial es más desaturado (úmbrico) o de saturación en bases variable pero de color claro (ótrico).

Cambisoles melánicos

Poseen un horizonte superficial oscuro y de alta saturación en bases (melánico), pero esta saturación de bases es baja en el horizonte cámbico y/o en el horizonte C subyacente.

2.7.3.2 Suelos Melánicos

Este grupo lo constituye el grupo taxonómico más importante del país ocupan la mayor extensión, distribuyéndose en todo el territorio pero no de manera homogénea. Son pocas las áreas donde no son componentes dominantes o codominantes en las asociaciones locales de suelos de las tierras altas. Estas excepciones corresponden entre otras a parte de las sierras cristalinas del este y sureste. Son los de mayor fertilidad productividad elevada lo cual permiten un uso más diversificado. Estos tienen en común la presencia de un horizonte melánico y, por debajo del mismo, horizontes de saturación

de bases elevada, en algunos casos, por debajo del horizonte melánico aparece directamente un contacto lítico. (Duran y García Prechác, 2007).

Brunosoles

Se trata de suelos oscuros, con contenidos elevados de materia orgánica, texturas medias al menos en los horizontes superficiales, alta saturación de bases en todo el perfil y diferenciación textural variable aunque predominantemente media a máxima. La secuencia de horizontes más frecuente es A-B-C, en la que el horizonte B es casi siempre argilúvico, bien desarrollado, de color oscuro y con estructura bien expresada, pero que no restringe de manera significativa el movimiento del agua o la difusión del aire. Cuando falta el horizonte B el perfil es de tipo A-C y el suelo es casi siempre de profundidad moderada o escasa, (Duran y García Prechác, 2007).

El contenido de carbono orgánico es típicamente alto en el horizonte superficial. Para 68 perfiles en el país se obtuvieron un promedio de 2,8%, y se evidencia que en los primeros 20 cm se concentra el 42% del C contenido hasta 1 metro de profundidad. Los brunosoles son suelos de alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), debido a su alto contenido de materia orgánica que aporta aproximadamente el 40% de dicha capacidad en el horizonte A.

En (Duran y García Prechác, 2007) se estudiaron la mineralogía de las arcillas de diversos suelos de las sierras cristalinas en los que se incluían brunosoles, alisoles, y cambisoles. En todos los suelos investigados se encontró una asociación bien definida de illita y caolinita, con cantidades menores de cuarzo y algo de feldespatos; las esmectitas estaban ausentes en todos los suelos.

Brunosol háplicos

Incluyen a los suelos sin horizonte argilúvico y que poseen en cambio un horizonte cámbico o carecen de horizonte B. No tienen contacto lítico a menos de 50cm de profundidad. Es un suelo de alta fertilidad pero de alto riesgo de sequía y muy baja tolerancia a la erosión debido a su espesor limitado.

Brunosoles líticos

Los mismos constituyen integrados hacia los litosoles y agrupan a brunosoles con contacto lítico a poca profundidad, pero no tan escasa como para que el suelo se clasifique como litosol. Este Subgrupo permite diferenciar a suelos cuyas propiedades

químicas pueden ser muy similares a las de otros brunosoles más profundos, pero con limitaciones mayores para el arraigamiento y la capacidad de retención de agua.

Brunosoles férricos

Los mismos incluyen a los brunosoles de colores rojizos o amarillentos, sobre todo en los horizontes subsuperficiales, con contenidos de carbono orgánico generalmente menor al de otros Subgrupos y con una mineralogía de la fracción arcilla diferente a la mayoría de los brunosoles ya que los Férricos carecen de esmectitas y en cambio la caolinita es tan frecuente como la illita. Los suelos de este Subgrupo se desarrollan sobre rocas ígneas o metamórficas ácidas, carecen de calcáreo libres, son de textura más gruesa, con contenidos no despreciables de gravas y poseen un contenido de hierro libre mayor al de los otros brunosoles. Su área de ocurrencia es casi exclusivamente las sierras cristalinas del este.

Brunosoles háplicos férricos

Son enteramente similares a los Férricos, a los que se asocian localmente en las sierras cristalinas del este, pero carecen de horizonte argilúvico, presentando un horizonte cámbico o careciendo de un horizonte B. Con respecto a la composición química prácticamente no difieren con los Férricos y en el campo es dificultoso diferenciarlos de cambisoles que presentan una morfología muy similar y con los que coexisten en algunas áreas de las sierras cristalinas.

Es un suelo clasificado como brunosol férrico, el material de origen granitos de la Sierra de Polanco.

Esta zona fue descrita por Bossi et al. (1976) citado en Bossi y Navarro (1988), donde se reconoce el pasaje gradual desde las fajas ectiníticas (grupo de rocas metamórficas que han conservado la composición química original) de los bordes hasta la zona central en que dominan los granitos, estos desarrollan texturas porfiroide con fenoblastos de feldespato potásico gris que pueden alcanzar hasta 4 centímetros de longitud.

Grupo Rocha

Dicho autor propone este nombre para el conjunto de rocas metamórficas de grado medio y bajo que se desarrollan con rumbo general NE, al este de Rocha y La Paloma, hasta las salineras ubicadas al norte de la Laguna Negra. La importante intrusión de Santa Teresa le quita continuidad pero hay suficientes elementos litológicos y estructurales para unificar los afloramientos del Grupo a ambos lados del macizo ígneo. El borde occidental es bastante nítido, porque se pasa en menos de 1 km de las ectinitas de grado medio a las migmatitas de la faja granitizada central. El borde oriental queda también bastante definido, porque se pasa en pocos kilómetros de las filitas de la Laguna de Castillos al granito de Cabo Polonio. Dentro del grupo se incluyen metamorfitos de grado bajo y una delgada faja de grado medio, que se desarrolla en el borde occidental. El carácter unificante del Grupo Rocha es su integración por ectinitas, de grado bajo y medio, sin indicios de migmatización. Dentro del Grupo podrían dividirse dos unidades, según el grado de metamorfismo, las rocas con grado de metamorfismo medio, forman una delgada faja en el borde occidental del Grupo, y están representadas por micaesquistos y gneisses moscovíticos. Las rocas con grado de metamorfismo bajo son netamente dominantes. Las filitas no calcáreas son las rocas dominantes, su composición es en base a sericita y cuarzo, dentro de las filitas, las más comunes son de color pardo, pero hacia el oeste del Grupo aparecen filitas negras. El grupo Rocha está integrado principalmente por metamorfitos de bajo grado de metamorfismo. No se ha reconocido hasta el presente ningún indicio de rocas de la secuencia carbonatada (ni calizas, ni dolomitas). En la evolución de este Grupo no han existido erupciones volcánicas ni se han dado las condiciones para acumulación de rocas carbonatadas.

Grupo Lavalleja

El mismo comprende el conjunto de metamorfitos de bajo grado que se extienden en una faja prácticamente continua desde la localidad de Parao en el departamento de Cerro Largo hasta la ciudad de Pan de Azúcar en el departamento de Maldonado. EL rumbo de esta unidad es NNE con enormes variaciones locales debidas a pliegues y flexiones, fallas, etc. El borde occidental está claro, porque coincide con el límite orogénico con el o los ciclos más antiguos. El carácter unificante del Grupo es el grado de metamorfismo bajo. Las filitas calcáreas son las rocas más abundantes de este

conjunto. Las filitas están compuestas por illita y/o sericita como minerales dominantes (Bossi y Navarro, 1988).

Intrusiones post-orogénicas

El ciclo orogénico Moderno, presenta más de una forma tectónica: los granitos sinorogénicos de la “Faja central granitizada”, y los granitos posorogénicos asociados a los Grupos Lavalleja y Rocha.

Granito de Santa Teresa

Básicamente se trata de un enorme complejo magmático, el macizo ha sido inyectado en las filitas del Grupo Rocha de rumbo regional NE a las cuales les produce intensa fracturación. El granito presenta variaciones texturales y mineralógicas muy importantes, se han podido definir tres tipos: granito porfiroide, granodiorita y microgranito moscovítico. La roca integrante de la parte central del macizo, es un granito porfiroide con cristales automórfos blancos de microclima de hasta 12 cm de longitud. En la periferia de este núcleo porfiroide, la roca netamente dominante es una granodiorita de textura granuda homogénea. En los alrededores de la localidad de Castillo, se desarrollan un granito rosado de grano fino compuesto principalmente por ortosa peritítica, cuarzo, etc. Estas facies engloban bloques irregulares de filita girados de su posición original lo que aporta una prueba más del carácter magmático intrusivo del macizo, (Bossi y Navarro, 1988)

Granito de Polanco

Se encuentra ubicado en el extremo SW de la mitad norte del Grupo Lavalleja. Se trata de un macizo relativamente extenso, abarcando una superficie de afloramiento del orden de los 300 km². Este granito es una roca homogénea gris, de grano medio, con algunos feldespatos desarrollados en centimétricos. La roca está constituida por ortosa, oligoclasa, y cuarzo. En el borde occidental, este granito hace contacto con gneisses y migmatitas del Ciclo Orogrénico Antiguo. En su borde noreste y sureste hace contacto con calizas del Grupo Lavalleja, (Bossi y Navarro, 1988).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se encuentra en la zona este del país. La información de la estación meteorológica de la ciudad de Rocha para la zona de estudio (Latitud: 34°29,6'S Longitud: 54°18,7'W Altitud: 18.16 m) define una temperatura media anual de 16,1 °C, la máxima media anual de 21,5 °C y la mínima de 10,8 °C. El régimen de precipitaciones anual es de 1122 mm siendo la mensual máxima agosto con 111 mm y la mínima diciembre con 62 mm (URUGUAY. MDN. DNM, 2009).

3.1 UBICACIÓN DE SITIOS EXPERIMENTALES

Los sitios evaluados constan de 7 rodales en los cuales la madera cosechada pertenece a la empresa Forestal Oriental SA. En la Figura 4 y el Cuadro 9 se indica la localización de dichos sitios.

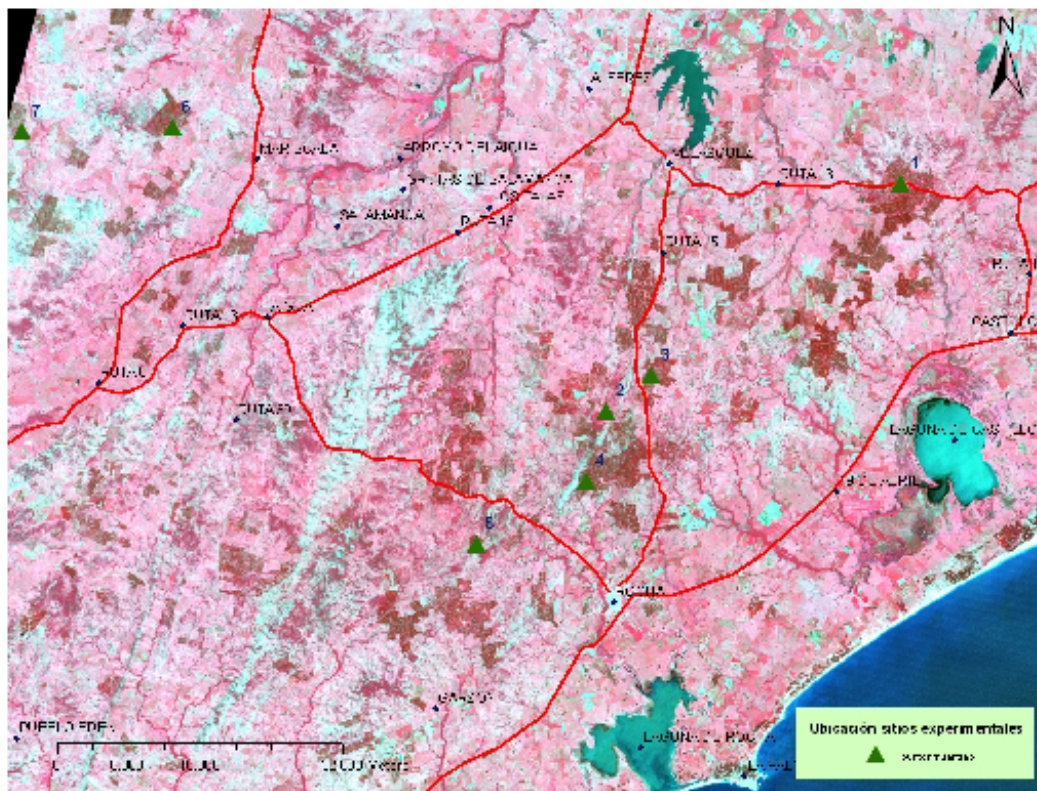


Figura 9. Ubicación geográfica de las parcelas muestreadas. Fuente: elaboración propia Arcview 3.2. INPE (2008).

Cuadro 13. Descripción de las coordenadas geográficas y vías de acceso a los sitios.

	Ubicación	Descripción
1	(S34 02 55.2 W53 59 55.6)	ruta 13 desde Velázquez al este 27,5 km.
2	(S34 17 22.3 W54 20 42.2)	ruta 15 desde Parallé al sur 8,5 km, camino vecinal al oeste 5,7 km.
3	(S34 15 00.9 W54 17 30.7)	ruta 15 desde Parallé al sur 5,5 km.
4	(S34 21 33.9 W54 22 14.1)	ruta 109 desde ciudad Rocha 4 km, camino vecinal al norte 10 km.
5	(S34 25 32.2 W54 30 05.0)	ruta 109 desde ciudad Rocha 1,6 km, camino vecinal al oeste 14 km.
6	(S34 00 41.3 W54 52 58.4)	ruta 8 desde Mariscalá 1,7 km al norte, camino vecinal al oeste 12 km.
7	(S34 01 02.2 W55 03 48.9)	camino cerro del cura desde Minas al norte 44 km.

3.2 SELECCIÓN DE MUESTRAS

La selección de sitios se realizó en base a la información de inventarios forestales proporcionada por la empresa y por parcelas circulares realizadas en los rodales evaluados al momento de realizar el trabajo de campo. Las variables consideradas para seleccionar las parcelas fueron: volumen del árbol medio, volumen por hectárea, CAP medio y altura comercial media.

En base a la información brindada por la empresa: circunferencia a la altura del pecho (CAP), área basal por hectárea, altura comercial a 5 centímetros de diámetro, volumen por hectárea y estimación de área por rodales, se procedió a seleccionar la zona a evaluar en base a: la selección de aquellos rodales que se encontraran al menos en la media estadística con respecto a las variables dasométricas consideradas en el inventario proporcionado por dicha empresa, sumado a lo anterior se consideró la existencia de una zona aledaña a la forestación con el mismo tipo de suelo, pero con vegetación de pasturas, a los efectos de la comparación entre suelos afectados y no afectados por la forestación, y pertenecer al grupo de suelo 2 de CONEAT.

De esta manera se seleccionaron los rodales candidatos y se procedió a evaluar parcelas circulares de 350 metros cuadrados, una en cada sitio muestreado, utilizando el delimitador de ultrasonido DME - Haglof, cinta métrica para la medición de la circunferencia a la altura del pecho de cada ejemplar. Se midieron todos los individuos

de la parcela y se clasificaron según la frecuencia de clases diamétricas. Posteriormente se procedió a la selección de cinco ejemplares a ser apeados dentro de cada parcela, en base a la medida del CAP promedio con cinta diamétrica, con una amplitud de ± 4 cm.

Para las parcelas 1, 3, 4, 5 y 6 la tecnología de plantación fue la siguiente:

- Origen: *Eucalyptus globulus* (Chillán, Chile).
- Silvicultura: Laboreo: Primera intervención con arado de rejas y 2 cinceles.
Segunda intervención con subsolador y 2 cinceles.
Herbicida: No se utilizó.
Fertilización: Fertilizante binario 20-40 (N-P), 100 g por planta.

Cuadro 14. Descripción del marco de plantación en los rodales evaluados.

Parcelas	M. de plantación (m)	Dens. teórica (arb ha ⁻¹)
1	4x2	1250
2	4x2,5	1000
3	4x2,5	1000
4	4x2	1250
5	4x2,5	1000
6	4x2	1250
7	4x2	1250

3.3 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS VEGETALES

Las variables biomasa por árbol, biomasa por hectárea se obtuvieron en base a la medición de los individuos apeados a nivel de campo, se pesaron las troza de cada árbol (peso verde), de cada troza se extrajo de la porción basal un disco, a partir de éste se obtuvo el peso seco en el laboratorio y de esta manera se determinó la materia seca por sección; basal, media y apical de cada árbol, este último dato se utilizó para determinar el peso seco de cada troza y de esta manera obtener el peso seco de cada árbol. En base al área definida de cada parcela circular se proyectó el volumen de la parcela a la hectárea.

3.3.1 Pesado, secado y molienda de muestras

Los discos seleccionados correspondientes a cada troza fueron descortezados y pesadas ambas componentes: madera y corteza. Posteriormente fueron colocados en estufa a 65 °C por 72 hs hasta llevar los mismos a peso constante. Luego fueron pesados y fue calculado el porcentaje de materia seca de cada material. La proporción de madera con respecto a la corteza en verde fue utilizada para calcular el peso verde de cada troza, en tanto que el porcentaje de materia seca se utilizó para calcular su peso seco.

Seguido al secado se seleccionaron los discos de la porción basal, media y superior de cada árbol a los efectos de su utilización en la estimación del contenido promedio de nutrientes en el total del fuste. Se realizó la molienda mediante perforación de la madera con taladro en sentido radial al disco. El aserrín obtenido fue procesado en un molino de cuchillas marca Marconi, con la intención de reducir y homogenizar el tamaño de partícula del material para su posterior análisis químico.

3.3.2 Determinaciones analíticas

3.3.2.1 Determinación de calcio, magnesio, potasio y fósforo

La determinación de nitrógeno se realizó a través de una digestión por vía seca. A partir de las muestras molidas se pesaron 2 g para su posterior mineralización por calcinación en mufla durante 5 horas a 500 °C. La ceniza obtenida se disolvió con 10 ml de HCl al 20% a temperatura ambiente, llevando a un volumen final de 25 mL. La determinación de P se realizó mediante colorimetría, mientras que Ca y Mg fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica, y K por espectrofotometría de emisión.

3.3.2.2 Determinación de nitrógeno total

La determinación de nitrógeno se realizó a través de una digestión por vía húmeda con H₂SO₄ y mezcla de catalizadores a (360°C) durante 1 hora 45 minutos, luego de lo cual se realizó la destilación del N mineral por Kjeldhal.

3.4 MUESTREO DE SUELOS

En simultáneo al muestreo de biomasa aérea, se realizó la descripción del suelo del sitio. Para dicho efecto se identificaron perfiles de suelo similares en el monte y el campo natural aledaño, a los efectos de realizar la comparación de propiedades morfológicas y químicas de suelo. Se realizó la descripción del perfil de cada situación de manejo (monte o campo natural), tomándose una muestra de cada horizonte de cada

perfil para posteriores análisis químicos. Cada punto de descripción de suelo, en coincidencia con las evaluaciones de biomasa, fueron georreferenciados con Gps Garmin Legend.

3.5 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS DE SUELO

Las muestras provenientes de cada horizonte de cada perfil fueron secadas en estufa a 45 °C, molidas y tamizadas a 2 mm, separando de esta manera la fracción mayor y menor a 2 mm. En el caso de muestras con gravilla mayor a 2 mm, se pesó una determinada cantidad de muestra, separando posteriormente la fracción mayor a 2 mm de la menor a 2 mm para determinar la proporción de cada una en el total.

3.5.1 Determinaciones analíticas

Cationes intercambiables.- La extracción de cationes intercambiables se realizó con acetato de amonio 1M a pH 7, con una relación suelo: solución de 1:10, agitado durante 10 minutos y filtrado con papel Whatman N°1. La lectura de Ca y Mg se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, mientras que K y Na fueron determinados por espectrofotometría de emisión.

Determinación de pH: La determinación de pH se realizó en agua y KCl. Las muestras se colocaron en frascos de 30cc y se le agregaron 10.5 ml de agua o KCl 1M (en relación suelo: solución 2.5). Se agitaron durante 5 minutos y se dejaron reposar durante 20 minutos. La medición se realizó en pHmetro a temperatura ambiente con la calibración previa con soluciones a pH 4,0 y 7,0.

Determinación de carbono orgánico.- La técnica utilizada fue mediante oxidación del C orgánico de 1 g de suelo con 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N en medio ácido (20 ml de H_2SO_4 concentrado) durante 20 minutos. Luego se lleva a 100 ml con agua destilada, se dejar decantar, se pasa el sobrenadante a tubos de ensayos, y se lee la absorbancia a 600 nm a las 24 hs.

Determinación de acidez intercambiable.- Se pesan 20 gr de suelo seco y colocar en frescos de plástico de 200 ml. Se agregan 100 ml de KCl 1M, agitando 15 minutos, decantando y filtrando el sobrenadante. Luego se agregan nuevamente 50 ml de KCl 1M, se agitan 15 minutos, decantan y filtra el sobrenadante. Finalmente se agregó al filtrado compuesto 20 gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0,05M hasta viraje rosado pálido permanente.

3.6 ANALISIS ESTADISTICO

Se realizó el análisis de datos de biomasa por árbol, biomasa por unidad de superficie, contenido de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) por árbol y en la hectárea, porcentajes de nutrientes, y CUB Se realizó el análisis de varianza testeando el efecto sitio usando como término de error el efecto árbol anidado dentro de sitio [árbol (sitio)], dado que no se tenían repeticiones de sitio mediante el procedimiento PROC MIXED del SAS (SAS Institute, 1996).

Se realizaron análisis de regresión simple y correlación entre la producción de biomasa con los parámetros DAP y altura total del árbol.

Se realizaron correlaciones entre las variables de planta (producción de biomasa, porcentaje de nutrientes, y extracción de nutrientes en trozas comerciales) y variables de suelo: profundidad de horizontes, porcentaje de materia orgánica, contenido de Ca, Mg, K y bases de intercambio ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), pH y acidez intercambiable del suelo ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) para el horizonte A y A+B.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN TROZAS COMERCIALES

Se presentan a continuación las principales características y variables dasométricas consideradas en las 7 parcelas evaluadas.

Cuadro 15. Producción promedio de biomasa por árbol de *E.globulus* y biomasa comercial por hectárea por grupo de suelos CONEAT en las 7 parcelas evaluadas, y características dasométricas asociadas al rodal (valores promedio, desvío standard y coeficiente de variación por grupo CONEAT).

Parcelas	Grupo CONEAT	Edad	Densidad	DAP	Altura Promedio	Biomasa por árbol	Biomasa total
		Años	Árboles ha ⁻¹	cm	m	Mg árbol ⁻¹	Mg ha ⁻¹
Arachanes	2.12	10	865	19	14	0,11	95
Palacios	2.12	10	714	17	13	0,09	67
Papazian	2.12	11	999	19	15,4	0,15	150
Promedio			859	18	14	0,12	104
D. Std.			(143)	(1,2)	(1,2)	(0,03)	(42)
C.V.			17	6	9	26	41
Arrarte	2.11b	12	785	21	19,7	0,19	147
Angelita	2.11b	9	549	18	12,5	0,09	50
Promedio			667	20	16	0,14	99
D. Std.			(167)	(2,1)	(5,1)	(0,07)	(69)
C.V.			25	11	32	51	70
Sapiro	2.11a	9	885	19	15,8	0,12	105
Escondida	2.11a	11	872	18	13,9	0,10	86
Promedio			879	19	15	0,11	100
D. Std.			(9)	(1,1)	(2,4)	(0,04)	(38)
C.V.			1	6	16	29	38
Promedio			810	19	15	0,12	100
D. Std.			(145)	(1,1)	(2,4)	(0,04)	(38)
C.V.			18	6	16	29	38

En relación a la producción de biomasa por hectárea se observaron diferencias significativas entre parcelas ($p < 0,001$). Fueron encontradas magnitudes similares de producción de biomasa promedio por hectárea en comparación con los registrados en el litoral oeste para *Eucalyptus globulus* de 10 años de edad (González, 2008), aun para valores menores de densidad de árboles por hectárea (Cuadro 15). Para *Eucalyptus maidenii*, también de 10 años de edad, pero con mayor densidad de plantación, dicho autor encontró valores superiores a los del presente trabajo, también para la zona litoral del país. Comparando con plantaciones de otra especie (*Eucalyptus grandis* entre 10 y 12 años), las producciones de biomasa de los sitios evaluados fueron inferiores (Giosa, 2009). Las diferencias encontradas pueden ser explicadas por una menor densidad de árboles por hectárea y menor altura comercial de los árboles en el presente trabajo

La zona litoral y este se han presentado como contrastantes en la capacidad de adaptación de la especie en el país. Debido a que el país se encuentra en un área de transición para dicha especie y de acuerdo al origen de la semilla, *Eucalyptus globulus* se ha adaptado más a zonas costeras, debido a la influencia marítima, heladas más leves, menos exceso de calor en verano, temperatura promedio más baja durante el año, y textura de suelos más livianas. En los “ensayos de orígenes” realizados por el INIA en Uruguay, Balmelli (1995) ha observado que la zona de origen es un factor muy importante en la adaptación de los árboles. Varios ensayos han determinado que la sobrevivencia y la susceptibilidad a enfermedades están muy relacionadas al lugar de origen de la semilla, por lo que dicho factor podría estar afectando la expresión del potencial de las plantaciones comerciales evaluadas.

Se observan diferencias en la magnitud de producción de biomasa entre parcelas la cual hace evidente las diferencias de aptitud y calidad de las plantaciones de los diferentes sitios, sustentada a su vez en base a la información de inventarios forestales proporcionada por la empresa que permite no solo valorar la volumetría de la parcela específica sino de los rodales circundantes.

En el (cuadro 15) se hace referencia a datos promedio pero la amplitud en la producción de biomasa de las distintas parcelas fue elevada, a su vez las mismas implicaban perfiles de suelo con características muy diferentes entre si. Por lo que la comparación con la información de González (2008) supone cierto recaudo ya que en varias parcelas la producción de biomasa en el presente trabajo difirió significativamente, se observaron valores mayores y menores en relación dicho trabajo, lo que podría explicar la mayor o menor capacidad de adaptación de la especie a los diferentes sitios.

De la misma manera se encontraron niveles inferiores de biomasa comercial en relación a *Eucalyptus dunnii* de 9 años de edad en el litoral oeste Hernández (2009), con una densidad de 1200 árboles por hectárea al momento de cosecha. A su vez la biomasa comercial fue inferior a la encontrada en *Eucalyptus globulus* entre los 14 y 18 años de edad (Brañas et al., 2000) en España y a *Eucalyptus regnans* de 10 años de edad Frederick et al. (1985) en Nueva Zelanda.

El agrupamiento de las parcelas en función del suelo Coneat no evidenció diferencias significativas en la producción de biomasa entre grupos Coneat, pero sí es de destacar la variabilidad en la producción de biomasa dentro de cada grupo Coneat, donde las diferencias en la densidad de árboles, DAP y la altura comercial, se tradujo en la producción comercial de biomasa.

Surge claro que la producción de biomasa a cosecha está determinada por diversos factores ambientales y no ambientales por lo que considerando las características químicas de los suelos existen otro tipo de factores como el manejo silvicultural aplicado (laboreo, fertilización, herbicidas, densidad, origen de la semilla, fecha de plantación) que influyen en la productividad de cada sitio evaluado.

La calidad de un sitio forestal se define como la capacidad de un área determinada para el crecimiento de árboles. Es la respuesta en el desarrollo de una determinada especie, a la totalidad de las condiciones ambientales (edáficas, climáticas y bióticas) existentes en un determinado lugar. La calidad de un sitio se puede medir a través de la cantidad de madera producida en un área (volumen), durante un determinado período de tiempo. El principal inconveniente de analizar este parámetro es que el volumen es dependiente de muchos factores, entre otros, de la densidad del bosque. Por lo tanto, a través del volumen no se tiene una idea exclusiva de la capacidad productiva inherente al sitio específicamente, sino a la interacción de este último con factores propios de la tecnología utilizada.

De esta manera se intento encontrar otro parámetro que expresara la producción de biomasa de una parcela buscando dejar la densidad de árboles y el efecto de la edad a un lado, por lo que se identificó a la producción de biomasa por árbol y por año como un factor relevante para determinar la calidad de cada sitio forestal evaluado.

A partir de lo anterior, dadas las diferencias en la densidad de plantas por parcela, así como la edad de las mismas, se realizó el análisis de varianza para la producción promedio de biomasa por árbol y por año. De lo anterior se obtuvieron

diferencias significativas entre parcelas para dicha variable ($p < 0,0044$). Esto indicaría que a igualdad de otros factores, el crecimiento y producción por año no fue el mismo para todos los sitios, lo que pone de manifiesto diferencias en la calidad del sitio. Un ejemplo lo constituyen los sitios Angelita y Arrarte, donde para un menor marco de plantación que en los restantes sitios, se encontraron niveles de producción de biomasa en un caso superior al promedio, y en otro caso inferior al promedio.

Se estudió entonces la relación entre la producción promedio por año de biomasa por árbol y las variables DAP y altura, encontrándose las relaciones que indican las figuras

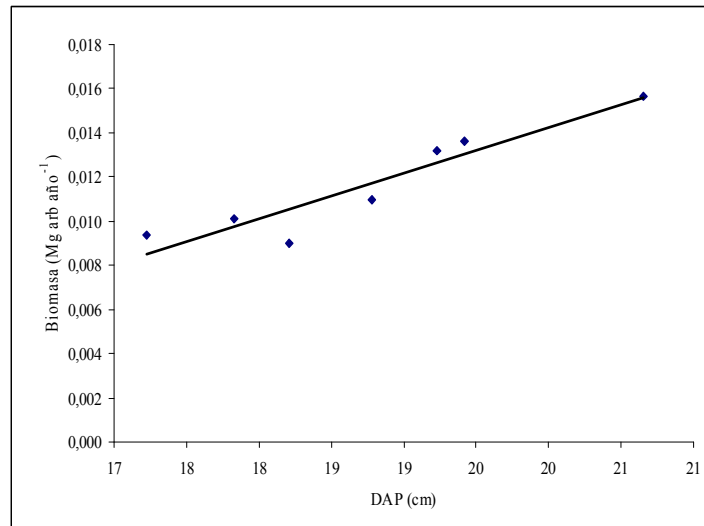


Figura 10. Relación entre la producción promedio por año de biomasa por árbol de *E.globulus* y el DAP para las parcelas evaluadas.

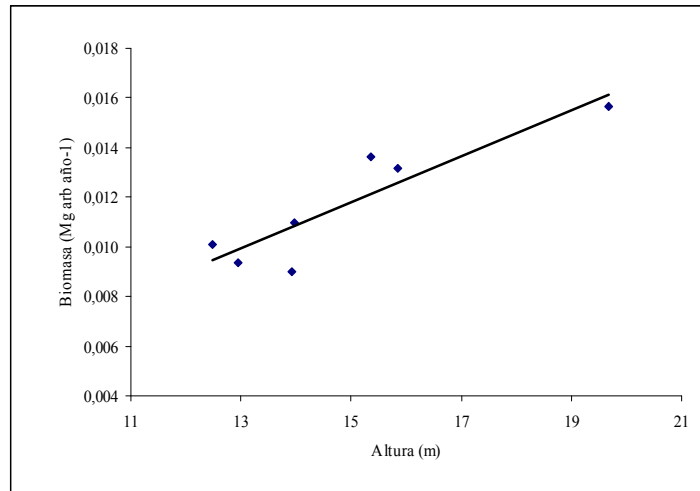


Figura 11. Relación entre la producción promedio por año de biomasa por árbol de *E.globulus* y la altura para las parcelas evaluadas.

Ambas variables mostraron una correlación positiva con la producción de biomasa por árbol por año (DAP: $r^2 = 0.83$, $P = 0.004$, $y = 0.0002x - 0,0249$; Altura: $r^2 = 0.82$, $P = 0.004$, $y = 0.0010x - 0,0033$).

4.2. CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN TROZAS COMERCIALES

4.2.1. Concentración de nutrientes a lo largo del fuste

Se estudió la distribución de los diferentes nutrientes a lo largo del fuste, mediante el análisis de la concentración de cada nutriente en la porción basal, media y apical del fuste de los árboles cosechados en cada parcela. En las Figuras 12, 13, 14, 15 y 16 se presentan los valores promedio y desvíos standard de concentración de N, P, K, Ca y Mg en los discos basales, medios y apicales de las siete parcelas.

Con respecto a la distribución de N a lo largo del fuste, se observó una mayor concentración en la base y en el ápice con respecto a la zona media del fuste, lo cual resultó similar a lo encontrado para *Eucalyptus grandis* Giosa (2009). Por el contrario, para *Eucalyptus globulus* González (2008) se encontró un decrecimiento hacia el ápice. En cuanto a la magnitud en la concentración de N se observaron niveles superiores a los encontrados en *Eucalyptus globulus* en el litoral (González, 2008), pero similares a los encontrados para *Eucalyptus grandis* Giosa (2009). Una posible explicación podría radicar en que las plantaciones de la zona este se realizaron sobre campo natural, en tanto que en el litoral es más probable que los sitios fueran antiguas chacras con

agricultura. Se encontraron diferencias significativas en la concentración de nitrógeno entre los sitios evaluados para la porción media ($p < 0,06$) y apical ($p < 0,03$) del fuste.

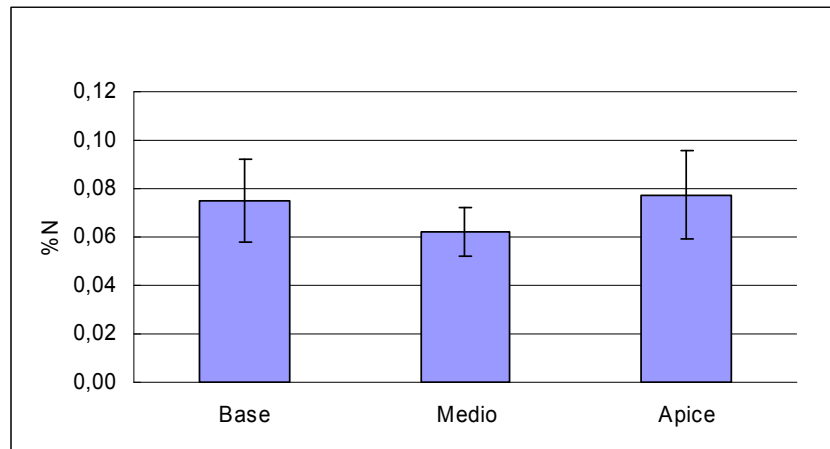


Figura 12. Concentración de N promedio según altura del fuste de *E. globulus*.

Con respecto al P la tendencia fue hacia un leve aumento en la concentración en la madera hacia el ápice. Es de destacar la alta variabilidad observada, principalmente en la zona basal de los árboles. En *Eucalyptus globulus*, González (2008) encontró niveles similares de concentración del nutriente, pero observó una tendencia más homogénea a lo largo del fuste. Para *Eucalyptus grandis* se encontró una concentración menor en la base y zona media del fuste, con una distribución a lo largo del fuste similar a la del presente trabajo Giosa (2009). A su vez, se encontraron diferencias significativas para la concentración de P entre las parcelas de estudio para la porción basal ($p < 0,05$) media ($p < 0,0019$) y apical ($p < 0,03$) del fuste.

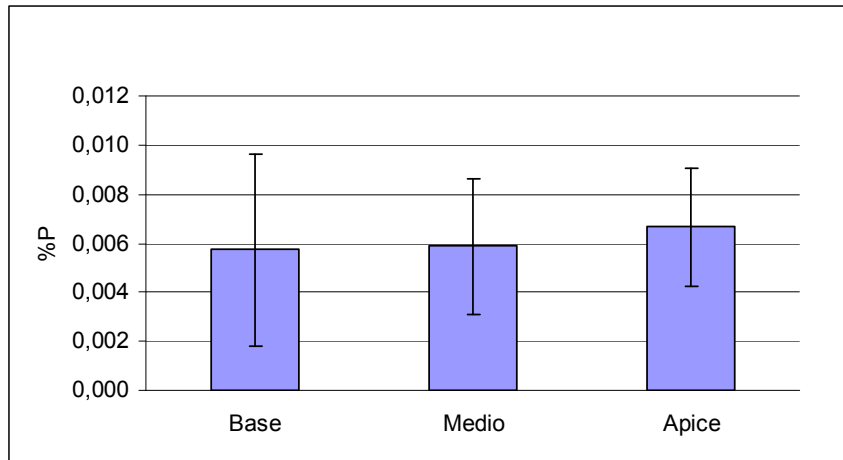


Figura 13. Concentración de P promedio según altura del fuste de *E. globulus*.

Con respecto a K se encontró una concentración con tendencia creciente hacia el ápice (Figura 16). Dicha distribución fue similar a la encontrada en *Eucalyptus globulus* González (2008) y en *Eucalyptus grandis* Giosa (2009). La concentración de K en los discos basales y medios fueron similares a las encontradas en *Eucalyptus globulus* González (2008), exceptuando en el disco apical, el cual fue superior en el presente trabajo. Con respecto a *Eucalyptus grandis* (Giosa, 2009), la concentración fue similar en la base y en la zona media, y menor en el ápice. Se encontraron diferencias significativas para la concentración de K entre parcelas estudiadas, para la porción basal ($p < 0,08$), media ($p < 0,0003$) y apical ($p < 0,065$) del fuste.

La disponibilidad de dicho nutriente en el suelo presentó una amplitud importante (cuadro 24) según la parcela considerada. Exceptuando dos sitios Arrarte y Papazian las restantes parcelas se encontraron a niveles superiores a los trabajos realizados por González (2008), Giosa (2009) y Hernández (2009).

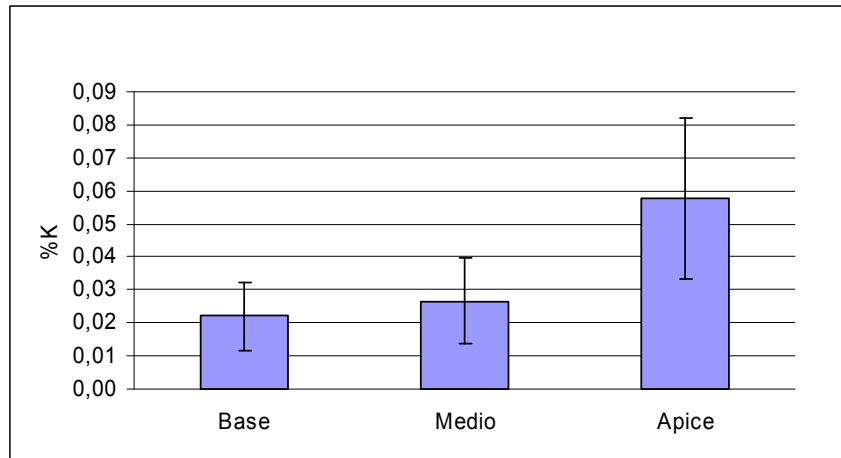


Figura 14. Concentración de K promedio según altura del fuste de *E. globulus*.

En el caso del Ca las concentraciones encontradas fueron inferiores a las encontradas en *Eucalyptus globulus* por González (2008) y en *Eucalyptus grandis* Giosa, (2009). Es de considerar la menor disponibilidad de Ca intercambiable en el suelo de las parcelas evaluadas con relación a los trabajos de González (2008) sobre suelo Coneat 9.3, Giosa (2009) sobre suelos 09.3, 9.1, 9.3 y a Hernández (2009) sobre suelos del grupo 9. La distribución a lo largo del fuste fue creciente desde la base hacia el ápice (Figura 15). Similar tendencia se observó en *Eucalyptus globulus*, aunque el incremento fue menos acentuado González (2008). Por el contrario, en *Eucalyptus grandis*, Giosa (2009) encontró una tendencia inversa a la observada en el presente trabajo.

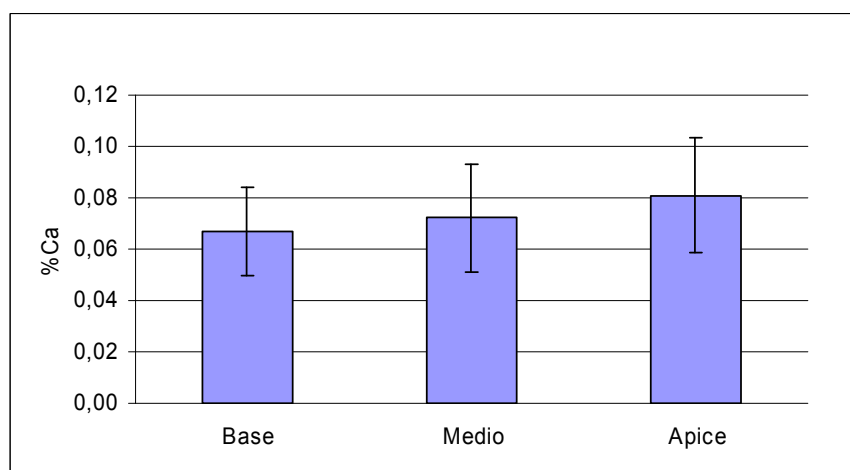


Figura 15. Concentración de Ca promedio según altura del fuste de *E. globulus*

No se observaron diferencias significativas para la concentración de calcio entre parcelas, para la porción basal ($p < 0,54$), media ($p < 0,18$) y apical ($p < 0,74$).

En relación con Mg se observó una mayor concentración en la base y el ápice (Figura 16). La concentración de dicho nutriente fue de similar magnitud en la porción basal y en la porción media con respecto a la encontrada por Giosa (2009) en *Eucalyptus grandis*, quien por el contrario encontró un incremento desde la base al ápice. Se observó una menor concentración de dicho nutriente para todas las porciones del fuste con respecto a la plantación de *Eucalyptus globulus* evaluada por González (2008), quien también mencionó un incremento desde la base hacia el ápice de la concentración de dicho nutriente. No se encontraron diferencias significativas para la concentración de magnesio entre parcelas, para la porción basal ($p < 0,31$), media ($p < 0,18$) o apical ($p < 0,17$).

La disponibilidad de dicho nutriente en el suelo fue de magnitudes similares a las encontradas por Giosa (2009), Hernández (2009), aunque levemente superiores a las descritas por González (2008) sobre suelos 09.3 del litoral oeste.

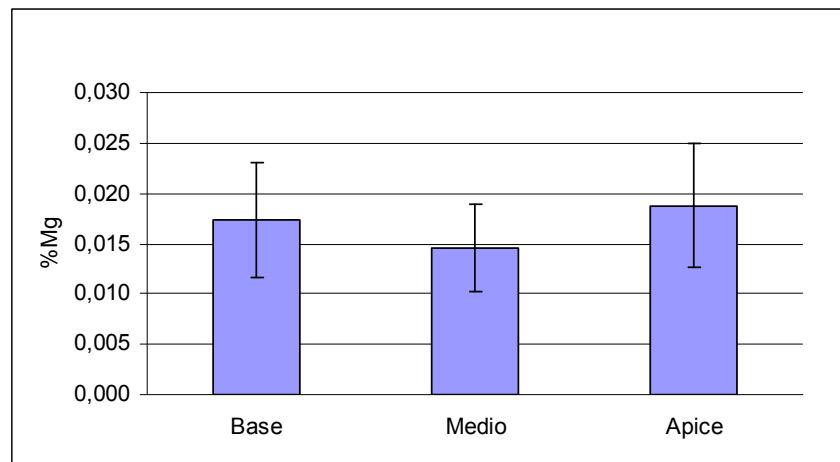


Figura 16. Concentración de Mg promedio según altura del fuste de *E. globulus*.

Se calculó el coeficiente de variación para la concentración de nutrientes en cada porción del fuste (cuadro 16).

Cuadro 16. Coeficiente de variación para la concentración de nutrientes en la porción basal, media y apical del fuste de *E.globulus* para los cinco árboles de los siete rodales evaluados.

Nutriente	Disco basal	Disco medio	Disco ápice	Promedio
N	23	16	23	21
P	68	47	36	50
K	46	49	42	46
Ca	26	30	28	28
Mg	33	29	33	32
Promedio	39	34	32	

Los nutrientes que presentaron mayor variabilidad en su concentración, independiente de la porción de fuste evaluada, fueron P y K. A su vez se observó que la zona basal del árbol fue la que presentó una mayor variabilidad promedio en la concentración de nutrientes, principalmente para P y K. Estos resultados coinciden en parte con los encontrados para *Eucalyptus grandis* Giosa (2009).

Cuadro 17. Porcentaje promedio de nutrientes en el fuste de las parcelas evaluadas.

Parcelas	Sitio	CONEAT	-----%-----				
			N	P	K	Ca	Mg
1	Arachanes	2.12	0.074	0.006	0.035	0.075	0.017
2	Arrarte	2.11b	0.066	0.005	0.032	0.062	0.014
3	Angelita	2.11b	0.072	0.005	0.052	0.071	0.018
4	Sapiro	2.11a	0.083	0.006	0.042	0.088	0.019
5	Palacios	2.12	0.068	0.008	0.027	0.074	0.013
6	Papazian	2.12	0.069	0.004	0.024	0.070	0.018
7	Escondida	2.11a	0.069	0.009	0.037	0.074	0.019
Promedio			0.071	0.006	0.035	0.073	0.017
Desv.std.			0.006	0.019	0.009	0.008	0.002
C.V			8	32	26	10	14

La concentración nutrientes extraídos presento el siguiente orden: Ca>N>K>Mg>P. La misma secuencia fue encontrada para *Eucalyptus grandis* Giosa (2009), *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus maideni* González (2008) y para *Eucalyptus dunnii* Hernández et al. (2009). Con respecto a la concentración de nutrientes se obtuvieron coeficientes de variación menores para N, Ca y Mg y similares para P, K en

relación a Giosa (2009) donde el número de sitios y muestras totales fueron similares a los del presente trabajo.

Con respecto a las concentraciones porcentuales de nutrientes, se observaron valores inferiores para K y Ca en relación a *Eucalyptus grandis* en suelos del litoral Giosa (2009), similares para P y Mg, y superiores para N. Con respecto a *Eucalyptus globulus* en un suelo del litoral se encontraron niveles superiores de N e inferiores en el resto de los nutrientes en relación a González (2008). Por último, con respecto a *Eucalyptus dunnii*, las concentraciones fueron inferiores para todos los nutrientes Hernández et al. (2009). Con respecto a *Eucalyptus globulus* Brañas et al. (2000) la concentración de nutrientes fue superior para N y Mg, similar para P, e inferior para Ca y K.

En el cuadro 18 se indica el resultado del análisis de varianza para las concentraciones de nutrientes promedio en el fuste entre sitios.

Cuadro 18. Análisis de varianza para la concentración de nutrientes en el fuste de *E.globulus* entre parcelas.

% nutrientes arb ⁻¹	F	p > F
N	0.93	0.4876
P	4.28	0.0035
K	4.23	0.0037
Ca	1.35	0.2702
Mg	1.75	0.1463

Sólo se encontraron diferencias significativas para la concentración de K y P en el fuste entre los diferentes sitios. Como se mencionó en el (cuadro 18) se observó una escasa variación entre parcelas para N, Ca y Mg. Complementariamente, se observó una alta variabilidad entre ejemplares dentro de la misma parcela, tal como se indica en el (cuadro 19).

Cuadro 19. Coeficiente de variación para la concentración de cada nutriente entre ejemplares de *E.globulus* de la misma parcela.

Parcelas	N	P	C.V (%)		
			K	Ca	Mg
Arachanes	24	58	68	30	49
Arrarte	25	55	76	18	27
Angelita	20	63	63	30	24
Sapiro	31	42	43	26	24
Palacios	17	26	59	34	37
Papazian	16	33	78	29	30
Escondida	20	26	46	23	27

Se puede observar que P y K fueron los nutrientes que presentaron la mayor variabilidad dentro de cada sitio, en tanto que N y Ca fueron los que presentaron la menor variación dentro de las parcelas. A su vez en el (cuadro 19) se puede observar que P y K fueron los que presentaron mayor variabilidad considerando todas las parcelas de manera conjunta, pero es de destacar que el coeficiente de variación en ningún caso superó el presentado para cada nutriente por parcela individual, lo cual determina que la variabilidad de todos los nutrientes fue mayor dentro de las parcelas que entre parcelas.

4.2.2. Exportación de nutrientes por sitio

En el Cuadro 20 se indican los valores promedio, desvío standard y coeficiente de variación para la exportación de nutrientes por las trozas comerciales en cada parcela.

Cuadro 20. Valores promedio, desvío standard y coeficiente de variación para la exportación de nutrientes en trozas comerciales de *E.globulus* por parcela.

Parcelas	CONEAT	Parámetro	N	P	K	Ca	Mg
					kg ha ⁻¹		
Arachanes	2.12	Promedio	67,4	5,5	26,5	67,8	15,0
		Desv. std.	(5,2)	(3,0)	(9,7)	(17,3)	(4,6)
		CV. (%)	7,7	53,8	36,8	25,5	30,8
Arrarte	2.11b	Promedio	89,2	6,1	31,4	92,2	20,5
		Desv. std.	(28,3)	(1,9)	(14,2)	(39,0)	(10,5)
		CV. (%)	31,8	31,1	45,3	42,4	51,1
Angelita	2.12 / 2.11b	Promedio	33,3	2,1	19,8	34,0	8,4
		Desv. std.	(4,6)	(1,2)	(3,7)	(10,7)	(0,9)
		CV. (%)	14,0	58,0	18,8	31,4	10,6
Sapiro	2.11a	Promedio	79,4	5,8	37,6	91	19,6
		Desv. std.	(11,8)	(2,0)	(7,1)	(21,4)	(3,6)
		CV. (%)	14,9	33,8	19,0	23,5	18,3
Palacios	2.12	promedio	44	5,2	14,8	47,0	48,4
		Desv. std.	(8)	(1,2)	(4,0)	(11,6)	(3,1)
		CV. (%)	19	22,5	27,2	24,7	36,9
Papazian	2.12	Promedio	101,8	5,2	26,0	97,6	25,8
		Desv. std.	(24,1)	(1,4)	(4,6)	(24,4)	(7,9)
		CV. (%)	23,7	27,5	17,8	25,0	30,6
Escondida	2.11a	Promedio	58,0	8,1	27,4	62,7	15,3
		Desv. std.	(6,2)	(1,8)	(5,9)	(16,9)	(3,6)
		CV. (%)	10,6	21,5	21,6	27,0	23,8
Total		Promedio	67,5	5,4	26,2	70,3	16,1
		Desv. std.	(27,0)	(2,4)	(10,0)	(30,5)	(7,9)
		CV. (%)	40,0	43,7	38,0	43,3	49,2

A su vez se realizó el análisis de varianza para la cantidad absoluta de nutrientes exportados en el fuste de las diferentes parcelas, en términos de kg arb⁻¹ año⁻¹ (cuadro21).

Cuadro 21. Análisis de varianza para las cantidades de nutrientes exportadas por árbol – año de *E.globulus* entre parcelas.

Nutriente Kg arb ⁻¹ año ⁻¹	F	p > F
N	5,05	0,0013
P	2,02	0,0959
K	5,19	0,0011
Ca	2,72	0,0330
Mg	2,84	0,0276

Se encontraron diferencias significativas entre parcelas para N, K, Ca y Mg, Los nutrientes siguieron el siguiente orden de extracción en la biomasa comercial por hectárea: Ca>N>K>Mg>P. El mismo orden fue encontrado en *Eucalyptus grandis* Giosa (2009), en *Eucalyptus globulus* y en *Eucalyptus maidenii* González (2008). A su vez, en *Eucalyptus dunnii* el orden de extracción fue el mismo para Ca, N y P, con excepción de K y Mg, los cuales invirtieron su orden en relación al presente trabajo Hernández et al. (2009).

En cuanto a la exportación de nutrientes promedio para todas las parcelas se encontraron valores menores para K, Ca y Mg, similares para P, y mayores para N con respecto al rodal estudiado por González (2008), para el cual el nivel de biomasa comercial acumulada fue similar al del presente trabajo, aunque para una mayor densidad de árboles.

A su vez se observaron niveles de extracción inferiores para todos los nutrientes evaluados en relación a la especie *Eucalyptus grandis* Giosa (2009). Es de destacar que la biomasa comercial en este último trabajo duplica la generada en el presente trabajo, y genera un alto impacto en la magnitud de nutrientes exportados. En relación a *Eucalyptus dunnii* Hernández (2009) los niveles de extracción de nutrientes y de biomasa comercial fueron superiores a los del presente trabajo. Finalmente en relación a *Eucalyptus maidenii* González (2008) se encontraron niveles inferiores de extracción en todos los nutrientes considerados. Es importante mencionar que la producción de biomasa comercial de esta última especie duplicó la del presente trabajo. Schumacher et al. (2001) en su evaluación de *Eucalyptus maidenii*, encontró un nivel superior de biomasa comercial producida, pero niveles comparables de N y P extraídos, inferiores de K y Mg y algo superiores de Ca. Por otro lado, se encontraron valores de producción de biomasa comercial y niveles de extracción de nutrientes inferiores en relación a Fredderick et al. (1985) y Brañas et al. (2000) para plantaciones de 10 años.

En general se puede destacar que las diferencias de magnitud de extracción por hectárea están altamente relacionadas a la magnitud de biomasa extraída y en menor medida a la concentración de nutrientes en la madera, ya que las diferencias de extracción se aprecian en mayor medida cuando la cantidad de biomasa extraída es significativamente superior, como es el caso de Giosa (2009), Hernández (2009), González (2008) en *Eucalyptus maidenii*.

La oferta de nutrientes por parte del suelo en general es menor en los suelos de basamento cristalino evaluados en relación a otros materiales de origen más recientes. Sin embargo, no se pueden dejar de considerar aspectos independientes de la calidad del sitio y de la tecnología aplicada (origen y silvicultura).

Uno de los aspectos a tener en cuenta es la silvicultura, la cual de acuerdo a la información relevada no presentó un manejo intensivo en cuanto a tecnología de preparación de suelo, fertilización y control de malezas, la cual expresa la realidad promedio de las plantaciones de mediados de la década pasada para esta zona del país. El origen para los sitios fue en 5 de 7 casos “Chillán”, el cual puede presentar ciertas limitantes para expresar el potencial de dicho origen según las características del sitio elegido. Estos aspectos pueden estar afectando la producción de biomasa por sitio.

4.3. EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE LOS NUTRIENTES

Una forma de evaluar la eficiencia de uso de los nutrientes es estimando la cantidad de materia seca de trozas comerciales en relación a la cantidad de cada uno de los nutrientes existentes en la madera, de esta manera se obtiene dicho coeficiente que valora la biomasa producida en función de la cantidad de nutrientes presente en dicha biomasa.

Se estudió la variación en el Coeficiente de Utilización Biológica entre sitios. En el (cuadro 22) se indican los datos promedio, desvío standard y coeficiente de variación para las siete parcelas evaluadas.

Cuadro 22. Coeficiente de utilización biológica (CUB) para los nutrientes evaluados en plantaciones de *E.globulus*.

Parcela	CONEAT	Parámetro	N	P	K	Ca	Mg
(kg biomasa kg nutriente ⁻¹)							
Arachanes	2.12	Promedio	1416	21542	3971	1451	6984
		Desv. std.	332	11611	1487	398	2768
		C.V. (%)	23	54	37	27	40
Angelita	2.11b	Promedio	1631	25589	5308	1656	7661
		Desv. std.	257	10129	2436	207	1328
		C.V. (%)	16	40	46	12	17
Arrarte	2.12 / 2.11b	Promedio	1494	31128	2604	1515	5935
		desvío std.	170	17827	798	234	770
		C.V. (%)	11	57	31	15	13
Sapiro	2.11a	Promedio	1346	20579	2858	1212	5473
		Desv. std.	218	9754	479	321	888
		C.V. (%)	16	47	17	26	16
Palacios	2.12	Promedio	1547	13026	4685	1494	8672
		Desv. std.	200	1572	1079	470	2685
		C.V. (%)	13	12	23	31	31
Papazian	2.12	Promedio	1492	30585	5862	1560	6038
		Desv. std.	116	9194	1084	210	1206
		C.V. (%)	8	30	18	13	20
Escondida	2.11a	Promedio	1478	10869	3193	1398	5732
		Desv. std.	157	2427	435	132	905
		C.V. (%)	11	22	14	9	16
Total		Promedio	1486	21902	4069	1470	6642
		Desv.std.	215	11950	1661	305	1901
		C.V. (%)	14	55	41	21	29

El orden de eficiencia de utilización biológica para cada nutriente fue: P>Mg>K>N>Ca. La misma secuencia fue encontrada para *Eucalyptus grandis* Giosa (2009), y *Eucalyptus globulus* González (2008).

Al comparar estos resultados con los de otros estudios se observa que el CUB para los distintos nutrientes evaluados presentó valores superiores para P, K, Ca y Mg, y similares para N con respecto a *Eucalyptus globulus* en el litoral González (2008). En

relación a *Eucalyptus grandis* Giosa, (2009) se encontraron niveles algo inferiores para N y P, similares para Mg y superiores para K y Ca. En relación a *Eucalyptus saligna* de 7 años de edad, Freitas Melo et al. (1995) en distintos sitios de Rio Grande del Sur (Brasil) se obtuvieron índices de eficiencia (CUB) mayores para P, K, Ca y Mg.

Se observaron en general valores de índice de eficiencia elevados para la especie a nivel nacional, a pesar de haber obtenido niveles similares de biomasa a González (2008) la concentración de nutrientes en la biomasa fue en general menor a la obtenida fue en dicho estudio para *E.globulus* y la oferta de bases de intercambio por parte del suelo fue menor con la excepción de K.

Cuadro 23. Análisis de varianza para las diferencias en el CUB de los diferentes nutrientes entre parcelas en plantaciones de *E.globulus*.

Nutriente	F	p > F
N	0.87	0.5300
P	2.96	0.0231
K	4.81	0.0017
Ca	1.07	0.4036
Mg	2.40	0.0539

Se encontraron diferencias significativas en el CUB entre parcelas para K ($p < 0,0017$), no ocurrió lo mismo con los restantes nutrientes donde no se encontraron diferencias significativas para N ($p < 0,53$), Ca ($p < 0,40$) y Mg ($p < 0,054$).

4.4.PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS EVALUADOS

En el Cuadro 24 se indican los valores de los parámetros analíticos promedio de los horizontes A y B de los perfiles de suelo de los sitios estudiados, para las dos situaciones de manejo caracterizadas: uso forestal y uso pastoril.

Cuadro 24. Parámetros analíticos promedio de los horizontes A y B de los perfiles de suelo de cada sitio. Se consideraron los valores para las dos situaciones de manejo: forestal y pastoril.

Sitio	Uso	Horizonte	Prof.(cm)	COS(†)	pH (H ₂ O)	A.I..	Ca	Mg	K	Na	B.T.	C.I.C.	S.B.
				g kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----							%	
Arachanes	Pastoril	A	20	17,7	5,00	1,11	1,80	1,30	0,36	0,30	3,76	4,87	77
		B	39	10,1	5,04	2,56	1,65	2,03	0,37	0,36	4,39	6,95	63
	Forestal	A	20	19,7	4,84	2,14	1,40	1,30	0,48	0,37	3,55	5,69	63
		B	35	12,6	4,86	3,88	1,22	1,22	0,42	0,40	3,25	7,13	46
Arrarte	Pastoril	A	43	20,5	5,28	0,89	3,34	2,01	0,20	0,44	5,98	6,87	87
		B	27	9,9	5,85	0,77	5,85	6,59	0,31	1,13	13,87	14,64	95
	Forestal	A	45	17,1	5,25	1,95	2,00	1,74	0,16	0,53	4,42	6,37	69
		B	29	8,8	6,27	0,18	7,80	6,29	0,29	1,12	15,49	15,67	99
Angelita	Pastoril	A	24	19,4	5,16	0,30	2,70	1,30	0,48	0,26	4,74	5,04	94
		B	42	7,8	5,38	0,70	7,30	3,80	0,50	0,47	12,07	12,77	75
	Forestal	A	24	17,5	5,08	0,47	2,60	1,40	0,58	0,33	4,91	5,38	91
		B	43	8,9	5,16	1,42	5,47	3,96	0,47	0,50	10,40	11,82	88
Sapiro	Pastoril	A	23	17,5	5,09	0,53	2,80	2,00	1,01	0,34	6,15	6,68	92
		B	71	9,2	5,12	1,18	2,95	3,66	0,75	0,38	7,73	8,91	87
	Forestal	A	22	13,7	4,87	0,80	2,40	2,00	0,70	0,40	5,50	6,30	87
		B	62	8,2	5,17	2,02	6,09	7,67	0,72	0,47	14,95	16,97	88
Palacios	Forestal	A	38	17,2	4,87	0,83	3,13	1,47	0,52	0,30	5,41	6,24	87
Papazian	Pastoril	A	32	17,5	4,86	0,59	3,50	1,73	0,18	0,38	5,78	6,37	91
		B	21	10,4	5,12	0,45	4,11	2,28	0,16	0,55	7,10	7,55	94
	Forestal	A	31	19,9	4,71	1,98	2,65	1,81	0,17	0,41	5,04	7,02	72
		B	39	8,0	5,48	0,92	6,32	4,07	0,18	1,10	11,67	12,59	74
Escondida	Pastoril	A	41	9,2	5,05	0,45	2,15	1,09	0,21	0,31	3,76	4,21	89
		Forestal	A	38	22,2	4,86	1,50	1,89	0,81	0,19	0,36	3,25	4,75

(†) COS: Carbono orgánico del suelo; A.I.: Acidez Intercambiable; B.T.: Bases Totales; C.I.C.: Capacidad de Intercambio Catiónico a pH del suelo; S.B.: Saturación en Bases

Con respecto al contenido de carbono orgánico se observa que para 6 pares de perfiles, en 3 casos es mayor en los perfiles de suelo afectado por la forestación, en 2 casos es mayor en el suelo pastoril y en 1 caso presenta la misma magnitud en ambas situaciones. Dichos resultados coinciden con los presentados por Pereira et al., citado por Attiwill (1996), Delgado et al. (2006) y Cabrera y Cal (2007) donde no se encontró una tendencia clara al cambio en el carbono orgánico por el cambio de uso.

En relación al pH se observaron niveles inferiores para los perfiles de suelo afectados por la forestación en 6 casos para el horizonte A (del orden de 0.2 unidades como máximo y 0.03 como mínimo), mientras que para el horizonte B no se observó una tendencia clara, en 2 casos fue inferior y en 3 casos fue superior en el suelo afectado por la forestación y los resultados de pH fueron coincidentes con Pereira et al., citado por Attiwill (1996), Jobbagy et al. (2003), Delgado et al. (2006), y Cabrera y Cal (2007) donde para todos los casos el pH en los primeros 20 cm de suelo fue menor bajo forestación.

En coincidencia con la disminución del pH del suelo, se observa una tendencia a un nivel superior de acidez intercambiable en todos los horizontes A y B de los perfiles de suelo afectado por la forestación, excepto en el horizonte B del sitio 2. Estos resultados son coincidentes con los resultados encontrados en los trabajos citados en el párrafo anterior, donde también se observó una tendencia al incremento de la acidez intercambiable en los horizontes A y B de los perfiles de suelo afectados a la forestación.

En relación con las bases de intercambio se observa una tendencia hacia la disminución de las mismas en el horizonte A de 5 perfiles bajo forestación y un comportamiento errático para el horizonte B de los perfiles estudiados. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Pereira et al., citado por Attiwill (1996), Jobbagy et al. (2003), Wise et al. (2006), Delgado et al. (2006), Cabrera y Cal (2007), en cuanto a la disminución de las bases de intercambio para el horizonte A. Estos últimos autores también observaron una disminución en las bases del horizonte B, aunque de menor magnitud que para el horizonte A, lo que no se verifica en este estudio.

Se observa una tendencia hacia una menor saturación en bases del horizonte A de todos los perfiles afectados por la forestación. En el caso del horizonte B no aparece tan clara dicha tendencia, observándose dos perfiles con menor saturación, y dos con mayor saturación de bases en los suelos forestales y un caso con niveles similares en ambas situaciones.

Dentro de las bases intercambiables, el Ca presentó una tendencia a una menor disponibilidad en el horizonte A de todos los perfiles bajo las plantaciones, es coincidente con Pereira et al., citado por Attiwill (1996), Jobbagy et al. (2003), (Wise et al. (2006), Cabrera y Cal (2007), en tanto que en el horizonte B la tendencia no fue clara, los resultados no fueron concordantes con la bibliografía aunque es de precisar que la disminución de dicho catión es más relevante en el horizonte A según Pereira et al., citado por Attiwill (1996), Cabrera y Cal (2007).

Por otra parte se observó una correlación significativa entre la acidez intercambiable en los horizontes B y la disponibilidad de Ca de dicho horizonte ($r^2 = -0,96$; $p < 0,010$). También se observó una correlación positiva y significativa entre el pH de los horizontes A y el porcentaje de saturación en bases del mismo ($r^2 = 0,93$; $p < 0,002$), y negativa entre la acidez intercambiable en los horizontes A y el porcentaje de saturación en bases ($r^2 = -0,94$; $p < 0,001$).

No se encontró una tendencia clara en relación al efecto de la forestación sobre el contenido de K, al igual que lo citado por Jobbagy et al. (2003). En relación al Mg, los resultados obtenidos coinciden también con el comportamiento errático encontrado por dicho autor, y no concuerdan con los encontrados en el estudio de Cabrera y Cal (2007), quienes plantean una disminución del mismo en el perfil de suelo forestal.

Con respecto al Na se observó una tendencia a una mayor disponibilidad en el horizonte A de los suelos afectados a la forestación, en 4 de un total de 6 perfiles, los resultados son coincidentes con la tendencias encontradas en Jobbagy (2003) y Cabrera y Cal (2007), a mayor disponibilidad en los perfiles afectados por la forestación.

Los datos analíticos de los suelos evaluados sugieren que el contenido de bases de intercambio se encuentra a niveles inferiores a los encontrados en otros trabajos realizados a nivel nacional González (2008), Hernández (2009), Giosa (2009), con la excepción de K y similares a Cabrera y Cal (2007).

4.5 RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE NUTRIENTES Y ALGUNAS PROPIEDADES DE SUELO

Algunos autores como Fabres (2003) mencionan la incidencia de algunas variables de suelo en la productividad del eucalipto: profundidad efectiva del suelo, pedregosidad, textura, densidad aparente, tipo de horizonte A y fertilidad del suelo. Entre los parámetros de fertilidad del suelo se destacan: la materia orgánica (principalmente como fuente de nitrógeno, fósforo y boro, y su efecto sobre el CIC y la capacidad de retención de agua), la saturación de bases, las formas químicas del P, K, Ca y la meteorización de minerales primarios, dependientes fundamentalmente de la mineralogía del suelo.

Uno de los factores estudiados fue la profundidad del suelo. Se encontró una tendencia positiva entre la profundidad de los horizontes ABC y el DAP ($r = 0,73$; $p < 0,06$). A su vez, se observó una tendencia positiva entre la profundidad de los horizontes ABC con el contenido de N en la biomasa, ($r = 0,67$; $p < 0,09$). Con respecto al contenido de cationes en la biomasa, se observó una tendencia positiva entre la profundidad de los horizontes A y B con el contenido de Ca y Mg en la biomasa, ($r = 0,70$; $p = 0,07$), ($r = 0,68$; $p < 0,09$), y entre la profundidad de los horizontes ABC con el contenido de K en la biomasa, ($r = 0,84$; $p < 0,02$). Esto muestra la importancia del factor profundidad del perfil no sólo en la producción de biomasa, sino en la posibilidad de acceso de las raíces de las plantas a horizontes del perfil desde dónde absorber nutrientes, pese a sus bajos contenidos generales en todo el perfil.

Sin embargo, la mayor concentración de K, Ca y Mg en la biomasa no se relacionó con la mayor disponibilidad (concentración) de los mismos en el suelo. Sólo para el contenido de Ca disponible en los horizontes B de los suelos afectados por la forestación y la producción de biomasa por árbol se observó una correlación positiva ($r = 0,90$; $p < 0,04$). Esto, relacionado con el factor profundidad mencionado anteriormente, sugiere que más que la concentración importaría la cantidad absoluta de estos nutrientes en la profundidad de arraigamiento.

Otro factor que mostró cierta relación con la producción de biomasa y absorción de nutrientes en algunos sitios fue la relación entre la fracción fina (< 2 mm) y gruesa (> 2 mm) del suelo. En los sitios Palacios y Angelita se tuvieron producciones de biomasa bajas, en parte relacionadas con la profundidad efectiva de arraigamiento. Pero además en Palacios se observó una relación fracción fina: fracción gruesa de 60:40 a partir de los 13 cm, en tanto que para Angelita fue de 50:50 entre los 40 y 67 cm.

Con respecto a la relación planta y propiedades del suelo se encontraron correlaciones positivas significativas para pH en los horizontes B con algunas variables de producción: altura comercial ($r = 0,93$; $p < 0,02$), DAP ($r = 0,91$; $p < 0,03$), y biomasa por árbol ($r = 0,87$; $p < 0,05$). Sin embargo, no se encontraron correlaciones significativas entre el pH en los horizontes A con las variables de producción de biomasa (DAP, altura comercial, biomasa por árbol). De esta manera el pH del horizonte B parece estar mayormente relacionado con las variables de producción de biomasa y sumado a lo anterior se observó una tendencia negativa entre la acidez intercambiable en los horizontes B y la producción de biomasa por árbol, ($r = -0,85$; $p < 0,06$). Sin embargo, al igual que con el pH, no se encontró una correlación significativa entre la acidez intercambiable en los horizontes A con las variables de producción de biomasa (DAP, altura comercial, biomasa por árbol).

Entre el contenido de materia orgánica de los horizontes A y B y las variables de producción de biomasa (DAP, altura comercial, biomasa por árbol) no se encontraron relaciones significativas.

5. CONCLUSIONES

- Se encontraron diferencias significativas en la producción de biomasa por árbol y por año entre los sitios evaluados. Estas diferencias estuvieron asociadas a la calidad del sitio.
- Se encontraron diferencias en la producción promedio de biomasa en los rodales dentro de cada grupo CONEAT.
- La concentración de N en la biomasa fue superior a la encontrada en otros trabajos realizados en el país en la misma especie y otras especies de eucaliptos, (historia de campo natural).
- Para las concentraciones de K y Ca, se observaron valores inferiores en relación a otras especies del género *Eucalyptus* en suelos del litoral, P y Mg fueron similares a *Eucalyptus grandis* en suelos arenosos del litoral.
- Las cantidades de nutrientes extraídas en la hectárea fue altamente dependiente de la producción de biomasa.
- Si bien la producción de biomasa comercial promedio no fue elevada para *E. globulus* en la zona este del país, la eficiencia de utilización biológica resultó superior a la misma especie en la zona litoral.
- Se observó una disminución en el pH, incremento de la acidez intercambiable, disminución de las bases de intercambio y de la saturación en bases en los suelos afectados por la forestación.
- Si bien no se encontró una relación entre la concentración de la mayoría de los nutrientes en el suelo y su concentración en la biomasa, hubo una correlación positiva entre la profundidad del perfil y su contenido en la biomasa.
- Se encontró una correlación positiva entre la profundidad del perfil y el DAP.
- La disminución del pH del horizonte B influiría negativamente en la altura comercial, DAP y producción de biomasa por árbol, en tanto que el incremento de la acidez intercambiable determinó una disminución en la producción de biomasa por árbol.
- Futuras evaluaciones deben considerar: alta variabilidad en la concentración de nutrientes registrada dentro de las parcelas y particularmente para K y P a su vez

también considerar la alta variabilidad de suelos, considerando la necesidad de elevar el número de muestras.

- En base a la metodología de selección de sitios, selección de las zonas dentro de los rodales se puede concluir que los niveles de extracción de nutrientes registrados estarían en los umbrales más altos para cada una de las 7 plantaciones evaluadas.

6. RESUMEN

La gran demanda de madera de *E. globulus* para la producción de celulosa ha llevado a ser la de mayor expansión en el Uruguay. Una de las zonas más importantes la constituyen los suelos del grupo CONEAT 2, desarrollados sobre basamento cristalino de la zona este. Existe inquietud por estudiar la sustentabilidad de los sistemas forestales desde el punto de vista de la extracción de nutrientes del suelo, por lo que el presente trabajo tuvo como objetivo cuantificar la exportación de nutrientes en las trozas comerciales de *E. globulus*, y relacionar dicha magnitud con algunas propiedades químicas del suelo. Se evaluaron siete rodales de *E. globulus* de los Dptos. de Rocha y Lavalleja, en los cuales se cuantificó la producción de biomasa de trozas comerciales, su concentración en nutrientes, y la extracción total de estos. Se caracterizó químicamente el suelo bajo monte y bajo manejo pastoril aledaño. Se encontraron diferencias en la producción de biomasa entre sitios (entre 50 y 150 Mg ha⁻¹), las cuales estuvieron asociadas a la calidad del sitio, la edad y la densidad de árboles en la hectárea. Dentro de cada grupo CONEAT hubo variaciones en la producción de biomasa. Los valores promedio de concentración de nutrientes en el fuste fueron de 0.071, 0.006, 0.035, 0.073 y 0.017% para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Esto determinó valores de extracción promedio para los siete sitios de 67.5, 5.4, 26.2, 70.3 y 16.1 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Dichos valores fueron en general inferiores (excepto para N) a los encontrados en la zona litoral para la misma especie y para *E. grandis*. Se encontró una tendencia positiva entre la profundidad de los suelos y el contenido de N, Ca, Mg y K en la biomasa, así como con el DAP. Sin embargo, la mayor concentración de K, Ca y Mg en la biomasa no se relacionó con la mayor disponibilidad (concentración) de los mismos en el suelo. Los suelos bajo uso forestal mostraron una tendencia hacia la disminución del pH, incremento de la acidez intercambiable, disminución de la disponibilidad de bases de intercambio intercambiable y disminución en la saturación en bases respecto al uso ganadero.

Palabras claves: Extracción de nutrientes; *Eucalyptus globulus*; Propiedades químicas de suelo; Basamento cristalino.

7. SUMMARY

In Uruguay the high demand for pulp production has led to an increasing expansion of *E. globulus* plantations. One of the most important areas corresponds to the CONEAT 2 soil group, developed on igneous and metamorphic rocks in the east region. To assess the sustainability of forest production, since the point of view of nutrient extraction has been a matter of increasing concern. The main objective of this study was to quantify the nutrient exportation in commercial logs of *E. globulus*, and to relate this with some chemical soil properties. Seven *E. globulus* plantations were evaluated in Dptos. of Rocha and Lavalleja. In each of them biomass production in commercial logs was measured, nutrient concentrations, and total nutrient exportation. The soil chemical properties were characterized in the forest plantations and in an adjacent area of native pasture under grazing. Important differences among sites in biomass production were found (from 50 to 150 Mg ha⁻¹), which could be associated to site quality, age and density of trees. Within each CONEAT group there were variations in biomass production. The average nutrient concentration values in logs were 0.071; 0.006; 0.035; 0.073 and 0.017% for N, P, K, Ca and Mg, respectively. This determined extraction values (average of the 7 sites) of 67.5; 5.4; 26.2; 70.3 and 16.1 kg ha⁻¹ of N, P, K, Ca y Mg, respectively. These values were in general lower (except for N) than those found in the west zone for the same species, and for *E. grandis*. A positive relationship was found between soil depth and N, Ca, Mg and K content in the biomass, as well as with DAP. However the high concentration of K, Ca and Mg in the biomass was not related with the nutrient availability, expressed as soil nutrient concentration. The soils under forest showed a trend for lower pH, increasing exchangeable acidity and decreasing cation availability and base saturation, compared to native pastures under grazing.

Key words: Nutrient exportation; *Eucalyptus globulus*; Soil chemical properties; Igneous and metamorphic rocks.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ALTAMIRANO, A.; DA SILVA, H.; DURAN, A. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, clasificación de suelos. Montevideo, MGAP. Dirección de Suelos y Fertilizantes. 96 p.
2. BALMELLI, G.; RESQUIN, F.; BENNADJI, Z.; ALTIER, N.; MARRONI, V. 2007. Sanidad, productividad y propiedades pulperas de orígenes *Eucalyptus globulus* a los once años. In: INIA. Mejoramiento genético y manejo de especies de Eucalyptus. pp. 13-23. (Serie actividades de difusión no. 491).
3. BINKLEY, D. 1993. Nutrición forestal. México. Limusa. 340 p.
4. BOSSI, J.; NAVARRO, R. 1985. Carta geológica del Uruguay, escala 1:500000. Montevideo, Facultad de Agronomía. 37 p.
5. BOSSI, J.; NAVARRO, R. 1988. Geología del Uruguay. Montevideo, Universidad de la República. 453 p.
6. BRAÑAS, J.; GONZÁLEZ-RÍO, F.; MERINO, A. 2000. Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noroeste de la península ibérica. Investigación Agrícola: Sistemas. Recursos Forestales. 9 (2): 317-334.
7. BRUSSA, C. 1994. Eucalyptus. Montevideo, Hemisferio Sur. 328p.
8. CABRERA, M.; CAL, A. 2007 Cambios en las propiedades físicas y químicas de suelos de la unidad Rivera al pasar de uso pastoril a forestal con *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) y *Pinus taeda* L. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 90p.
9. CAMARA, C. D.; DE PAULA LIMA, W.; VIEIRA, S. A. 2000. Clearcutting of a 50 year old *Eucalyptus spp.* plantation: impacts on nutrient cycling in an experimental catchment. Scientia Forestales no. 57: 99-109.
10. CAMPOS SANTANA, R.; BARROS, N. F.; LIMA NEVES, J. C. 1999. Biomass and nutrient content of provenances of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* on different sites of Sao Paulo state. Scientia Forestales. no. 56: 155-169.
11. _____.; _____.; COMERFORD, N. 2000. Above-ground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalipto plantations growing in

different sites in Brazil. *New Zealand Journal of Forestry science*. 30 (1): 225-236.

12. DELGADO, S.; ALLIAUME, F.; GARCÍA PRECHAC, F.; HERNÁNDEZ, J. 2006. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus sp.* sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia*. Montevideo. 10(2): 95-107.
13. DELL ACQUA, M.; PETRAGLIA, C.; SAN ROMAN, D. 2006. Resultados de la interpretación de imágenes satelitales para forestación y el uso de los suelos de prioridad forestal. (en línea). Consultado 18 ago. 2009. Disponible en: www.mgap.gub.uy/Forestal/ImagenSateliteForestacion.pdf
14. DOLDAN, J.; FARINA, I.; TARIGO, F. 2008. Utilización de *Eucalyptus spp.* alternativas de plantaciones uruguayas para pulpa kraft. *Innotec*. Publicación anual del laboratorio tecnológico del Uruguay. no. 3: 30-34.
15. DURAN, A.; GARCIA PRECHAC, F. 2007. Suelos del Uruguay, origen, clasificación, manejo y conservación.. Montevideo, Hemisferio Sur. v.1, 334 p.
16. FABRES, A. 2003. Aspectos nutricionais de *Eucalyptus globulus* em Portugal. 1º Simposio Iberoamericano de *Eucalyptus globulus*. Montevideo, Uruguay.
17. FERNANDEZ, R. 2002. Estrategias para minimizar los impactos de la cosecha forestal. Balance de nutrientes y condiciones físicas del suelo. En: XVII Jornadas forestales de Entre ríos. 2002.
18. FOELKEL, C. 2009. Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. (en línea). Disponible en: <http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html>
19. FREDERICK, D. J.; MADGWICK, H.; JURGENSEN, M.; OLIVER, G. 1985. Dry matter content and nutrient distribution in an age series of *Eucalyptus regnans* plantations in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 15 (2): 158-179.

20. FREITAS MELO, V.; FERREIRA DE NOVAIS, R.; DE BARROS, N.; FERREIRA FONTES, M.P.; DA COSTA, LL. M. 1995. Balance nutricional, eficiencia de utilización y evaluación de la fertilidad del suelo en P, K, Ca e Mg en plantaciones de eucaliptos en Río grande del sur. IPEF. Piracicaba. no. 48: 8-17.
21. GELDRES, E.; GERDING, V.; SCHLATTER, J. E. 2006. Biomasa de *Eucalyptus nitens* de 4-7 años de edad en un rodal de la X Región, Chile. Revista Bosque 27 (3): 223-230.
22. GIOSA, R. 2009. Cuantificación del contenido de nutrientes en trozas comerciales de *Eucalyptus grandis* con destino a la fabricación de pulpa y su relación con el tipo de suelo. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Facultad Agronomía. 104 p.
23. GONZALEZ, D. A. 2008. Extracción de nutrientes por cosecha de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*. Tesis maestría. Montevideo. Uruguay. Facultad de Agronomía. 89 p.
24. GOYA, J. F.; FRANGI, J. L.; DALLA TEA, F.; MARCO, M. A.; LAROCCA, F. 1997. Biomasa, productividad y contenido de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus grandis* en el NE de la provincia de Entre Ríos. En: XII Jornadas Forestales de Entre ríos. 1997.
25. GROVE, T.S.; THOMSON, B. D.; MALAJCZUK, N. 1996 Nutritional physiology of eucalyptus: uptake, distribution and utilization. pp. 77-108. En: ATTIWILL, P.M. 1996. Nutrition of Eucalyptus. CSIRO 440 p.
26. HERNANDEZ. J.; DEL PINO, A.; SALVO, L.; ARRARTE, G. 2009. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* maiden plantation in temperate climate of Uruguay. Forest Ecology and Management no. 258: 92-99.
27. INPE. (s.f). San Pablo. Brasil. Base de datos de imágenes aéreas Landsat-7. Consultado 18 de ago. 2009. Disponible en: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>
28. JOBBÁGY, E.G.; JACKSON, R.B. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversión of grasslands to forests. Biogeochemistry no. 64: 205-229.

29. JUDD, T. S. 1996. Simulated nutrient losses due to timber harvesting in highly productive eucalypt forests and plantations. pp. 249- 258. En: ATTIWILL, P.M. 1996. Nutrition of eucalyptus. CSIRO 440 p.
30. JURADO BELLOTE, A .F.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; DE OLIVEIRA, G. 1980. Extracción y exportación de nutrientes por *Eucalyptus grandis* hill ex – maiden en función de la edad: macronutrientes. IPEF no. 20: 1-23.
31. LACLAU, J. P.; BOUILLET, J.; RANGER, J. 2000. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of eucalyptus in Congo. Forest ecology and management no. 128: 181-196.
32. PEREIRA, J. S.; TOMÉ, M.; MADEIRA, M.; OLIVEIRA, C. A.; TOMÉ, J.; ALMEIDA, M. H. 1996 Eucalypt plantations in Portugal. pp. 371-387. En: ATTIWILL, P.M. 1996. Nutrition of Eucalyptus. CSIRO 440 p.
33. PRODAN, M.; PETERES, R.; COX, F.; REAL, P. 1997. Mensura forestal. 34. San José. Costa Rica. IICA. 561 p.
35. SCHUMACHER, M. V.; WINCKLER CALDEIRA, M. V. 2001. Biomass estimation and nutrient content of a *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespecie *maidenii* plantation. Ciencia Florestal. (Santa Maria). 11(1): 45-53.
36. SHIELD, E. 2004. Tomando contacto con la realidad. Revista de sociedad de productores forestales no. 22: 4-7.
37. UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMIA. 2000. La clasificación de suelos Coneat y su posibilidad de utilización. Montevideo. 12 p.
38. URUGUAY. MDN. DNM. (s.f) . Base de datos meteorológica. (en línea). Consultado 18 de ago. 2009. Disponible en: <http://www.meteorologia.com.uy/>
39. URUGUAY. MGAP. PRENADER (s.f). Consultado 18 ago. 2009. Disponible en: <http://www.prenader.gub.uy/coneat>
40. WISE, P.K.; PITMAN, M.G. 1981. Nutrient removal and replacement associated with short-rotation eucalypt plantations. Australia Forestry. 44 (3): 142-152.

9. APÉNDICE

- 1) Parcela: Arachanes
 Coordenadas geográficas: S34 02 55.2 W53 59 55.6
 Posición topográfica: ladera alta, 8% de pendiente
 Material generador: Granitos Santa Teresa
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.12

Horizonte	Profundidad	Descripción
A1	0-20	Pardo (10YR4/3); franco; transición clara
Bt ₁	20-32	Pardo oscuro (10YR3/3); franco arcillo limoso; transición clara
Bt ₂	32-38	Pardo (10YR5/3); franco arcillo limoso; transición clara
Bc	38-59	Pardo amarillo (10YR5/6); arcillo gravilloso; transición clara
C	59-73	Pardo amarillo claro (10YR6/4); arcillo gravilloso con gravilla abundante; transición clara
R?	73++	transición clara

- 2) Parcela: Arachanes
 Coordenadas geográficas: S34 02 55.7 W53 59 56.2
 Posición topográfica: ladera alta, 8% de pendiente
 Material generador: Granitos Santa Teresa
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.12

Horizonte	Profundidad	Descripción
A ₁₁	0-20	Pardo (10YR3/3); franco; transición clara
Bt	20-40	Entre pardo grisáceo oscuro y pardo (10YR3/2,5); franco arcillo limoso; transición clara
BC	40-54	Pardo amarillo oscuro (10YR3/4); franco arcillo limoso; transición clara
C	54++	Entre pardo amarillo oscuro y pardo amarillo (10YR4/4, 10YR6/6); franco gravilloso con gravilla.
R?	73++	

1)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	
A ₁₁	0-20	5	4	3,05	1,80	1,30	0,30	0,36	3,76	1,11	7,52	77
Bt ₁	20-32	4,98	3,93	2,08	1,20	1,00	0,32	0,26	2,78	2,12	5,56	57
Bt ₂	32-38	5,01	3,89	1,65	1,20	1,20	0,27	0,26	2,93	2,41	5,86	55
BC	38-59	5,13	3,81	1,44	2,40	3,60	0,44	0,54	6,98	3,13	13,96	69
C	59-90	5,16	3,83	1,07	2,00	3,50	0,46	0,46	6,42	2,88	12,84	69

2)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	
A ₁₁	0-20	4,84	3,84	3,39	1,40	1,30	0,37	0,48	3,55	2,14	7,10	62
B _t	20-40	4,84	3,8	2,26	0,75	1,10	0,38	0,39	2,62	3,54	5,24	42
BC	40-54	4,88	3,77	2,08	1,01	1,40	0,42	0,46	3,29	4,38	6,58	43
C	54-73	4,89	3,8	1,26	0,75	1,00	0,40	0,31	2,46	3,42	4,92	42

- 3) Parcela: Palacios
 Coordenadas geográficas: S34 25 32.2 W54 30 05.0
 Posición topográfica: ladera baja, 12% de pendiente
 Material generador: TCD-Gneisses
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.12

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0-13	Pardo rojo oscuro (5YR 3/2); franco con escasa gravilla
AC	13-38	Pardo rojo oscuro (5YR 3/2); franco con gravilla abundante
C	38-56	Pardo rojizo (5YR 4/3); franco con gravilla abundante
++R	56++	++R

3)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-13	4,72	3,91	4,34	3,00	1,40	0,29	0,60	5,29	0,99	10,58	84
AC	13-38	4,95	3,96	2,26	3,20	1,50	0,30	0,48	5,48	0,74	10,96	88
C	38-56	5,19	3,99	1,47	4,30	1,80	0,31	0,43	6,84	0,68	13,68	91

- 4) Parcela: Arrarte
 Coordenadas geográficas: S34 17 22.3 W54 20 42.2
 Posición topográfica: ladera alta 12% pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.11b

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 23	Pardo muy oscuro (7,5YR 2,5/2); franco
E?	23 – 43	Pardo (10YR 4/3); franco limoso
Bt1	43 – 59	Pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); arcilloso; moteados abundantes de 2-5 mm
Bt2	59 – 70	Pardo y Pardo amarillo oscuro (10YR 4/3) y (10YR 4/6); arcilloso con gravilla
C	70 – 80	Pardo oliva (2,5 y 4/3); franco arcillo limoso
R	80 +	

- 5) Parcela: Arrarte
 Coordenadas geográficas: S34 17 22.6 W54 20 42.3
 Posición topográfica: ladera alta 12% pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.11b

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 20	Pardo muy oscuro (7,5YR 2,5/2); franco
E?	20 – 45	Pardo gris oscuro (10YR 4/2); franco limosos; concreciones de Fe y Mn; pocos moteados tenues con borde difuso pardo fuerte (7,5YR 4/6)
Bt1	45 – 57	Pardo gris muy oscuro y (10YR 3/2); arcilloso con poca gravilla; moteados abundantes netos pardo amarillo oscuro (10YR 4/6) de 2-5 mm; concreciones Fe y Mn
Bt2	57 – 74	Pardo amarillo oscuro (10YR 4/6) y en la matriz pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); arcilloso con abundante gravilla
C	74 – 84	Pardo amarillo suave y pardo muy oscuro (2,5YR 6/4) y (10YR 2/2); franco arcillo limoso con abundante gravilla
R	84 +	

4)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-23	5,14	4,17	5,54	4,60	2,10	0,40	0,26	7,36	0,60	14,72	92
E	23-43	5,44	3,99	1,24	1,90	1,90	0,50	0,13	4,43	1,24	8,86	78
Bt ₁	43-59	5,75	4,07	1,90	5,40	6,10	1,05	0,29	12,84	1,06	25,68	92
Bt ₂	59-70	6,00	4,32	1,45	6,80	7,30	1,26	0,34	15,70	0,34	31,40	98
C	70-80	6,52	4,77	1,15	7,20	6,90	1,30	0,28	15,68	0,07	31,36	100

5)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-20	5,03	3,87	4,87	2,50	1,80	0,50	0,23	5,03	2,35	10,06	68
E	20-45	5,44	3,87	1,44	1,60	1,70	0,55	0,10	3,95	1,64	7,90	71
Bt ₁	45-57	5,87	4,19	2,01	6,40	5,30	1,07	0,24	13,01	0,37	26,02	97
Bt ₂	57-74	6,56	4,81	1,16	8,80	7,00	1,15	0,32	17,27	0,04	34,54	100
C	74-84	6,92	5,12	1,07	10,90	8,00	1,32	0,39	20,61	0,01	41,22	100

- 6) Parcela: La Angelita
 Coordenadas geográficas: S34 15 00.9 W54 17 30.7
 Posición topográfica: loma aplanada 3% de pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.11b

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 - 24	Pardo (10YR 4/3); franco – franco arcillo limoso con arena gruesa
Bt1	24 -45	Pardo amarillo oscuro (10YR 4/6); arcilloso con gravilla abundante
Bt2	45 – 66	Pardo amarillo (10YR 5/6); arcilloso con gravilla abundante concreciones de Fe y Mn de 4 mm duras; moteados pardo fuerte (7,5YR 5/8) de 4 mm borde difuso netos
C	66 – 74	Pardo amarillo (10YR 6/6); franco arcillo limoso con gravilla; concreciones de Fe y Mn de 4 mm duras
R	74 +	

- 7) Parcela: La Angelita
 Coordenadas geográficas: S34 15 01.5 W54 17 31.5
 Posición topográfica: loma aplanada 3% de pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.11b

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 - 24	Pardo oscuro (10YR 3/3); franco arcillo limoso con arena gruesa
Bt1	24 -40	Pardo fuerte (7,5YR 4/6); arcilloso con gravilla abundante concreciones de Fe y Mn de 1 mm
Bt2	40 – 67	Pardo fuerte (7,5YR 5/6); arcilloso con gravilla abundante; concreciones de Fe y Mn de 4 mm duras; moteados rojo (2,5YR 4/8) mayores a 5 mm de borde difuso netos abundantes
C	67– 80	Rojo débil (10YR 5/4); franco arcillo limoso -arcilloso con gravilla abundante; concreciones de Fe y Mn mayores a 5 mm, duras
R	80 +	

6)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-24	5,16	4,19	3,35	2,70	1,30	0,26	0,48	4,74	0,30	9,48	94
Bt ₁	24-45	5,25	3,97	1,76	7,20	3,90	0,47	0,41	11,98	0,98	23,96	92
Bt ₂	45-66	5,52	4,15	0,94	7,40	3,70	0,47	0,60	12,17	0,43	24,34	97
C	66-74	5,65	4,28	0,76	7,20	3,30	0,45	0,39	11,34	0,23	22,68	98

7)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-24	5,08	4,06	3,01	2,60	1,40	0,33	0,58	4,91	0,47	9,82	91
Bt ₁	24-40	5,07	3,82	1,81	4,60	3,40	0,45	0,49	8,94	1,52	17,88	85
Bt ₂	40-67	5,25	3,89	1,26	6,30	4,50	0,55	0,45	11,80	1,32	23,60	90
C	67-80	5,36	4,06	0,59	6,90	4,60	0,53	0,43	12,46	0,94	24,92	93

- 8) Parcela: Sapiro
 Coordenadas geográficas: S34 21 33.9 W54 22 14.1
 Posición topográfica: ladera alta 5% de pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.11a

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 23	Franco arcillo limoso con gravilla abundante
Bt1	23 – 55	Arcilloso con gravilla abundante
Bt2	55 – 71	Arcilloso con gravilla abundante; concreciones de Fe y Mn, abundantes
BC	71 – 94	Arcillo limoso con gravilla abundante
C	94 +	Arcillo limoso

(Colorimetría): datos no disponibles

- 9) Parcela: Sapiro
 Coordenadas geográficas: S34 21 34.7 W54 22 13.
 Posición topográfica: ladera alta 5% de pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.11a

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 22	Franco arcillo limoso con gravilla abundante
Bt1	22 – 54	Arcilloso con gravilla abundante
Bt2	54 – 70	Arcilloso con gravilla abundante
BC	70 – 84	Arcillo limoso, con gravilla abundante
C	84 +	Franco limoso

(Colorimetría): datos no disponibles

8)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-23	5,09	4,21	3,01	2,80	2,00	0,34	1,01	6,15	0,53	12,30	92
Bt1	23-55	5,14	4,16	2,56	3,40	3,80	0,37	0,96	8,53	1,33	17,06	86
Bt2	55-71	5,11	4,08	1,03	2,70	3,60	0,38	0,69	7,37	1,34	14,74	85
BC	71-80	5,1	4,04	0,63	2,50	3,50	0,39	0,49	6,88	0,87	13,76	89
C	80++	5,14	4,09	0,55	2,60	3,80	0,33	0,40	7,13	1,29	14,26	85

9)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-22	4,87	3,98	2,36	2,40	2,00	0,40	0,70	5,50	0,80	11,00	87
Bt ₁	22-54	5,01	3,94	2,07	4,50	5,90	0,42	1,00	11,82	2,58	23,64	82
Bt ₂	54-70	5,12	3,9	0,90	4,80	6,90	0,50	0,54	12,74	1,91	25,48	87
BC	70-84	5,6	3,91	0,53	11,20	12,60	0,59	0,31	24,70	0,88	49,40	97
C	84++	6,03	3,97	0,47	13,90	14,00	0,69	0,27	28,86	0,62	57,72	98

- 10) Parcela: Papazián
 Coordenadas geográficas: S34 00 41.3 W54 52 58.4
 Posición topográfica: loma convexa 3 % de pendiente
 Material generador: TNP- Complejo La China/ Las Tetas
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.12

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 22	Pardo muy oscuro (10YR 3/1); franco con arena; transición clara
AB	22 – 32	Pardo muy oscuro (10YR 3/1); franco – franco arcillo limoso con gravilla
Bt1	32 – 43	Pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); franco arcillo limoso con gravilla abundante
Bt2	43 - 53	Pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); arcilloso con gravilla moteados
C	53 – 72	Pardo (10YR 4/3); arcilloso con gravilla con moteados pardo amarillo oscuro (10YR 4/6) de borde neto, mayores a 5 mm, y material desagregado amarillo (10YR 8/8)
R	72 +	

- 11) Parcela: Papazián
 Coordenadas geográficas: S34 00 40.6 W54 52 59.0
 Posición topográfica: loma convexa 3 % de pendiente
 Material generador: TNP- Complejo La China/ Las Tetas
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.12

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 24	Pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); franco con arena; transición clara
AB	22 – 31	Pardo oscuro (10YR 3/3); franco – franco arcillo limoso con gravas
Bt1	31 – 43	Pardo amarillo (10YR 5/4); arcillo – arcillo limoso con gravilla abundante material desagregado pardo amarillo (10YR 6/6)
Bt2	43 - 70	Pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); arcilloso con gravilla con moteados 2,5YR
C	70 - 80	Pardo gris oscuro y pardo amarillo (10YR 4/2) y (10YR 5/8); arcillo limoso
R	72 +	

10)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-22	4,82	4,07	3,32	3,50	1,70	0,37	0,18	5,75	0,64	6,39	90
AB	22-32	4,96	4,14	2,35	3,50	1,80	0,40	0,17	5,87	0,49	6,36	92
Bt1	32-43	5,08	4,17	1,81	3,50	1,80	0,65	0,14	6,09	0,44	6,53	93
Bt2	43-53	5,17	4,12	1,78	4,80	2,80	0,46	0,19	8,25	0,47	8,72	95
C	53-72	5,22	4,23	1,35	5,80	3,50	0,49	0,20	9,99	0,31	10,30	97

11)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-24	4,66	3,87	3,69	2,50	1,70	0,37	0,18	4,75	1,79	9,50	73
AB	24-31	4,88	3,85	2,57	3,20	2,20	0,59	0,15	6,14	2,67	12,28	70
Bt ₁	31-53	5,39	4,02	1,69	5,70	3,80	1,07	0,18	10,75	1,33	21,50	89
Bt ₂	53-70	5,53	4,07	1,24	6,60	4,20	1,12	0,18	12,10	0,75	24,20	94
C	70-80	5,51	4,06	1,35	6,90	4,40	0,49	0,21	12,00	0,72	24,00	94

- 12) Parcela: La Escondida
 Coordenadas geográficas: S34 01 02.2 W55 03 48.9
 Posición topográfica: ladera media, 6-8 % de pendiente
 Material generador: TNP- Granito Cerro Aburrado
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.11a

Horizonte	Profundidad	Descripción
A11	0 – 23	Pardo Amarillo y pardo amarillo oscuro ((10YR 3/4(h)) y ((10YR 5/4(s)); franco arcillo arenoso – franco arenoso
A12	23 – 41	Pardo amarillo oscuro y pardo oscuro; (10YR 4/4(s)) y ((10YR 3/3(h)); franco arcillo arenoso con gravilla
C	41 – 60	Pardo amarillo ((10YR 5/6(s)); franco arcilloso con gravilla
R	60 +	

- 13) Parcela: La Escondida
 Coordenadas geográficas: S34 01 02.2 W55 03 48.3
 Posición topográfica: ladera media, 6-8 % de pendiente
 Material generador: TNP- Granito Cerro Aburrado
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.11a

Horizonte	Profundidad	Descripción
A11	0 – 19	Pardo amarillo y pardo amarillo oscuro (10YR 5/4(s)) y (10YR 3/4 (h)); franco arcillo arenoso – franco arenoso con gravilla
A12	19 – 38	Pardo amarillo oscuro y pardo oscuro (10YR 4/4(s)) y (10YR 3/3(h)); franco arcillo arenoso con gravilla abundante
C	38 – 59	Pardo amarillo (10YR 5/6(s)); franco arcilloso con gravilla material alterado pardo amarillo (10YR 5/4)
R	59 +	

12)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A ₁₁	0-23	4,98	4,03	1,83	1,80	1,00	0,30	0,26	3,36	0,48	6,72	87
A ₁₂	23-41	5,14	4,09	1,29	2,60	1,20	0,33	0,15	4,28	0,41	8,56	91
C	41-60	5,22	4,14	1,10	4,00	2,00	0,35	0,17	6,52	0,65	13,04	91

13)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A ₁₁	0-19	4,74	3,8	2,13	0,98	0,71	0,33	0,23	2,25	1,54	4,50	59
A ₁₂	19-38	4,99	3,87	1,16	1,83	0,92	0,40	0,14	3,29	1,47	6,58	69
C	38-59	5,1	3,84	0,80	3,20	1,60	0,42	0,14	5,36	1,88	10,72	74

6. RESUMEN

La gran demanda de madera de *E. globulus* para la producción de celulosa ha llevado a ser la de mayor expansión en el Uruguay. Una de las zonas más importantes la constituyen los suelos del grupo CONEAT 2, desarrollados sobre basamento cristalino de la zona este. Existe inquietud por estudiar la sustentabilidad de los sistemas forestales desde el punto de vista de la extracción de nutrientes del suelo, por lo que el presente trabajo tuvo como objetivo cuantificar la exportación de nutrientes en las trozas comerciales de *E. globulus*, y relacionar dicha magnitud con algunas propiedades químicas del suelo. Se evaluaron siete rodales de *E. globulus* de los Dptos. de Rocha y Lavalleja, en los cuales se cuantificó la producción de biomasa de trozas comerciales, su concentración en nutrientes, y la extracción total de estos. Se caracterizó químicamente el suelo bajo monte y bajo manejo pastoril aledaño. Se encontraron diferencias en la producción de biomasa entre sitios (entre 50 y 150 Mg ha⁻¹), las cuales estuvieron asociadas a la calidad del sitio, la edad y la densidad de árboles en la hectárea. Dentro de cada grupo CONEAT hubo variaciones en la producción de biomasa. Los valores promedio de concentración de nutrientes en el fuste fueron de 0.071, 0.006, 0.035, 0.073 y 0.017% para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Esto determinó valores de extracción promedio para los siete sitios de 67.5, 5.4, 26.2, 70.3 y 16.1 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Dichos valores fueron en general inferiores (excepto para N) a los encontrados en la zona litoral para la misma especie y para *E. grandis*. Se encontró una tendencia positiva entre la profundidad de los suelos y el contenido de N, Ca, Mg y K en la biomasa, así como con el DAP. Sin embargo, la mayor concentración de K, Ca y Mg en la biomasa no se relacionó con la mayor disponibilidad (concentración) de los mismos en el suelo. Los suelos bajo uso forestal mostraron una tendencia hacia la disminución del pH, incremento de la acidez intercambiable, disminución de la disponibilidad de bases de intercambio intercambiable y disminución en la saturación en bases respecto al uso ganadero.

Palabras claves: Extracción de nutrientes; *Eucalyptus globulus*; Propiedades químicas de suelo; Basamento cristalino.

7. SUMMARY

In Uruguay the high demand for pulp production has led to an increasing expansion of *E. globulus* plantations. One of the most important areas corresponds to the CONEAT 2 soil group, developed on igneous and metamorphic rocks in the east region. To assess the sustainability of forest production, since the point of view of nutrient extraction has been a matter of increasing concern. The main objective of this study was to quantify the nutrient exportation in commercial logs of *E. globulus*, and to relate this with some chemical soil properties. Seven *E. globulus* plantations were evaluated in Dptos. of Rocha and Lavalleja. In each of them biomass production in commercial logs was measured, nutrient concentrations, and total nutrient exportation. The soil chemical properties were characterized in the forest plantations and in an adjacent area of native pasture under grazing. Important differences among sites in biomass production were found (from 50 to 150 Mg ha⁻¹), which could be associated to site quality, age and density of trees. Within each CONEAT group there were variations in biomass production. The average nutrient concentration values in logs were 0.071; 0.006; 0.035; 0.073 and 0.017% for N, P, K, Ca and Mg, respectively. This determined extraction values (average of the 7 sites) of 67.5; 5.4; 26.2; 70.3 and 16.1 kg ha⁻¹ of N, P, K, Ca y Mg, respectively. These values were in general lower (except for N) than those found in the west zone for the same species, and for *E. grandis*. A positive relationship was found between soil depth and N, Ca, Mg and K content in the biomass, as well as with DAP. However the high concentration of K, Ca and Mg in the biomass was not related with the nutrient availability, expressed as soil nutrient concentration. The soils under forest showed a trend for lower pH, increasing exchangeable acidity and decreasing cation availability and base saturation, compared to native pastures under grazing.

Key words: Nutrient exportation; *Eucalyptus globulus*; Soil chemical properties; Igneous and metamorphic rocks.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ALTAMIRANO, A.; DA SILVA, H.; DURAN, A. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, clasificación de suelos. Montevideo, MGAP. Dirección de Suelos y Fertilizantes. 96 p.
- BALMELLI, G.; RESQUIN, F.; BENNADJI, Z.; ALTIER, N.; MARRONI, V. 2007. Sanidad, productividad y propiedades pulperas de orígenes *Eucalyptus globulus* a los once años. In: INIA. Mejoramiento genético y manejo de especies de *Eucalyptus*. pp. 13-23. (Serie actividades de difusión no. 491).
- BINKLEY, D. 1993. Nutrición forestal. México. Limusa. 340 p.
- BOSSI, J.; NAVARRO, R. 1985. Carta geológica del Uruguay, escala 1:500000. Montevideo, Facultad de Agronomía. 37 p.
- BOSSI, J.; NAVARRO, R. 1988. Geología del Uruguay. Montevideo, Universidad de la República. 453 p.
- BRAÑAS, J.; GONZÁLEZ-RÍO, F.; MERINO, A. 2000. Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noroeste de la península ibérica. Investigación Agrícola: Sistemas. Recursos Forestales. 9 (2): 317-334.
- BRUSSA, C. 1994. *Eucalyptus*. Montevideo, Hemisferio Sur. 328p.
- CABRERA, M.; CAL, A. 2007 Cambios en las propiedades físicas y químicas de suelos de la unidad Rivera al pasar de uso pastoril a forestal con *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) y *Pinus taeda* L. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 90p.
- CAMARA, C. D.; DE PAULA LIMA, W.; VIEIRA, S. A. 2000. Clearcutting of a 50 year old *Eucalyptus spp.* plantation: impacts on nutrient cycling in an experimental catchment. Scientia Forestales no. 57: 99-109.
- CAMPOS SANTANA, R.; BARROS, N. F.; LIMA NEVES, J. C. 1999. Biomass and nutrient content of provenances of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* on different sites of Sao Paulo state. Scientia Forestales. no. 56: 155-169.

- _____.; _____.; COMERFORD, N. 2000. Above-ground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalipto plantations growing in different sites in Brazil. *New Zealand Journal of Forestry science*. 30 (1): 225-236.
- DELGADO, S.; ALLIAUME, F.; GARCÍA PRECHAC, F.; HERNÁNDEZ, J. 2006. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus sp.* sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia*. Montevideo. 10(2): 95-107.
- DELL ACQUA, M.; PETRAGLIA, C.; SAN ROMAN, D. 2006. Resultados de la interpretación de imágenes satelitales para forestación y el uso de los suelos de prioridad forestal. (en línea). Consultado 18 ago. 2009. Disponible en: www.mgap.gub.uy/Forestal/ImagenSateliteForestacion.pdf
- DOLDAN, J.; FARINA, I.; TARIGO, F. 2008. *Utilización de Eucalyptus spp. alternativas de plantaciones uruguayas para pulpa kraft*. *Innotec. Publicación anual del laboratorio tecnológico del Uruguay*. no. 3: 30-34.
- DURAN, A.; GARCIA PRECHAC, F. 2007. Suelos del Uruguay, origen, clasificación, manejo y conservación.. Montevideo, Hemisferio Sur. v.1, 334 p.
- FABRES, A. 2003. Aspectos nutricionais de *Eucalyptus globulus* em Portugal. 1º Simposio Iberoamericano de *Eucalyptus globulus*. Montevideo, Uruguay.
- FERNANDEZ, R. 2002. Estrategias para minimizar los impactos de la cosecha forestal. Balance de nutrientes y condiciones físicas del suelo. En: XVII Jornadas forestales de Entre ríos. 2002.
- FOELKEL, C. 2009. Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. (en línea). Disponible en: <http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html>
- FREDERICK, D. J.; MADGWICK, H.; JURGENSEN, M.; OLIVER, G. 1985. Dry matter content and nutrient distribution in an age series of *Eucalyptus regnans* plantations in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 15 (2): 158-179.

- FREITAS MELO, V.; FERREIRA DE NOVAIS, R.; DE BARROS, N.; FERREIRA FONTES, M.P.; DA COSTA, LL. M. 1995. Balance nutricional, eficiencia de utilización y evaluación de la fertilidad del suelo en P, K, Ca e Mg en plantaciones de eucaliptos en Río grande del sur. IPEF. Piracicaba. no. 48: 8-17.
- GELDRES, E.; GERDING, V.; SCHLATTER, J. E. 2006. Biomasa de *Eucalyptus nitens* de 4-7 años de edad en un rodal de la X Región, Chile. Revista Bosque 27 (3): 223-230.
- GIOSA, R. 2009. Cuantificación del contenido de nutrientes en trozas comerciales de *Eucalyptus grandis* con destino a la fabricación de pulpa y su relación con el tipo de suelo. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Facultad Agronomía. 104 p.
- GONZALEZ, D. A. 2008. Extracción de nutrientes por cosecha de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*. Tesis maestría. Montevideo. Uruguay. Facultad de Agronomía. 89 p.
- GOYA, J. F.; FRANGI, J. L.; DALLA TEA, F.; MARCO, M. A.; LAROCCA, F. 1997. Biomasa, productividad y contenido de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus grandis* en el NE de la provincia de Entre Ríos. En: XII Jornadas Forestales de Entre ríos. 1997.
- GROVE, T.S.; THOMSON, B. D.; MALAJCZUK, N. 1996 Nutritional physiology of eucalyptus: uptake, distribution and utilization. pp. 77-108. En: ATTIWILL, P.M. 1996. Nutrition of Eucalyptus. CSIRO 440 p.
- HERNANDEZ, J.; DEL PINO, A.; SALVO, L.; ARRARTE, G. 2009. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* maiden plantation in temperate climate of Uruguay. *Forest Ecology and Management* no. 258: 92-99.
- INPE. (s.f). San Pablo. Brasil. Base de datos de imágenes aéreas Landsat-7. Consultado 18 de ago. 2009. Disponible en: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

- JOBBÁGY, E.G.; JACKSON, R.B. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. *Biogeochemistry* no. 64: 205-229.
- JUDD, T. S. 1996. Simulated nutrient losses due to timber harvesting in highly productive eucalypt forests and plantations. pp. 249- 258. En: ATTIWILL, P.M. 1996. Nutrition of eucalyptus. CSIRO 440 p.
- JURADO BELLOTE, A .F.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; DE OLIVEIRA, G. 1980. Extracción y exportación de nutrientes por *Eucalyptus grandis* hill ex – maiden en función de la edad: macronutrientes. IPEF no. 20: 1-23.
- LACLAU, J. P.; BOUILLET, J.; RANGER, J. 2000. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of eucalyptus in Congo. *Forest ecology and management* no. 128: 181-196.
- PEREIRA, J. S.; TOMÉ, M.; MADEIRA, M.; OLIVEIRA, C. A.; TOMÉ, J.; ALMEIDA, M. H. 1996 Eucalypt plantations in Portugal. pp. 371-387. En: ATTIWILL, P.M. 1996. Nutrition of Eucalyptus. CSIRO 440 p.
- *PRODAN*, M.; PETERES, R.; COX, F.; REAL, P. 1997. Mensura forestal.
- San José. Costa rica. IICA. 561 p.
- SCHUMACHER, M. V.; WINCKLER CALDEIRA, M. V. 2001. Biomass estimation and nutrient content of a *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespecie *maidenii* plantation. *Ciencia Florestal*. (Santa Maria). 11(1): 45-53.
- SHIELD, E. 2004. Tomando contacto con la realidad. *Revista de sociedad de productores forestales* no. 22: 4-7.
- UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMIA. 2000. La clasificación de suelos Coneat y su posibilidad de utilización. Montevideo. 12 p.
- URUGUAY. MDN. DNM. (s.f) . Base de datos meteorológica. (en línea). Consultado 18 de ago. 2009. Disponible en: <http://www.meteorologia.com.uy/>

- URUGUAY. MGAP. PRENADER (s.f). Consultado 18 ago. 2009. Disponible en: <http://www.prenader.gub.uy/coneat>
- WISE, P.K.; PITMAN, M.G. 1981. Nutrient removal and replacement associated with short-rotation eucalypt plantations. *Australia Forestry*. 44 (3): 142-152.

9. APÉNDICE

- 1) Parcela: Arachanes
 Coordenadas geográficas: S34 02 55.2 W53 59 55.6
 Posición topográfica: ladera alta, 8% de pendiente
 Material generador: Granitos Santa Teresa
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.12

Horizonte	Profundidad	Descripción
A1	0-20	Pardo (10YR4/3); franco; transición clara
Bt ₁	20-32	Pardo oscuro (10YR3/3); franco arcillo limoso; transición clara
Bt ₂	32-38	Pardo (10YR5/3); franco arcillo limoso; transición clara
Bc	38-59	Pardo amarillo (10YR5/6); arcillo graviloso; transición clara
C	59-73	Pardo amarillo claro (10YR6/4); arcillo graviloso con gravilla abundante; transición clara
R?	73++	transición clara

- 2) Parcela: Arachanes
 Coordenadas geográficas: S34 02 55.7 W53 59 56.2
 Posición topográfica: ladera alta, 8% de pendiente
 Material generador: Granitos Santa Teresa
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.12

Horizonte	Profundidad	Descripción
A ₁₁	0-20	Pardo (10YR3/3); franco; transición clara
Bt	20-40	Entre pardo grisáceo oscuro y pardo (10YR3/2,5); franco arcillo limoso; transición clara
BC	40-54	Pardo amarillo oscuro (10YR3/4); franco arcillo limoso; transición clara
C	54++	Entre pardo amarillo oscuro y pardo amarillo (10YR4/4, 10YR6/6); franco graviloso con gravilla.
R?	73++	

1)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	
A ₁₁	0-20	5	4	3,05	1,80	1,30	0,30	0,36	3,76	1,11	7,52	77
Bt ₁	20-32	4,98	3,93	2,08	1,20	1,00	0,32	0,26	2,78	2,12	5,56	57
Bt ₂	32-38	5,01	3,89	1,65	1,20	1,20	0,27	0,26	2,93	2,41	5,86	55
BC	38-59	5,13	3,81	1,44	2,40	3,60	0,44	0,54	6,98	3,13	13,96	69
C	59-90	5,16	3,83	1,07	2,00	3,50	0,46	0,46	6,42	2,88	12,84	69

2)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	
A ₁₁	0-20	4,84	3,84	3,39	1,40	1,30	0,37	0,48	3,55	2,14	7,10	62
B _t	20-40	4,84	3,8	2,26	0,75	1,10	0,38	0,39	2,62	3,54	5,24	42
BC	40-54	4,88	3,77	2,08	1,01	1,40	0,42	0,46	3,29	4,38	6,58	43
C	54-73	4,89	3,8	1,26	0,75	1,00	0,40	0,31	2,46	3,42	4,92	42

- 3) Parcela: Palacios
 Coordenadas geográficas: S34 25 32.2 W54 30 05.0
 Posición topográfica: ladera baja, 12% de pendiente
 Material generador: TCD-Gneisses
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.12

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0-13	Pardo rojo oscuro (5YR 3/2); franco con escasa gravilla
AC	13-38	Pardo rojo oscuro (5YR 3/2); franco con gravilla abundante
C	38-56	Pardo rojizo (5YR 4/3); franco con gravilla abundante
++R	56++	++R

3)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-13	4,72	3,91	4,34	3,00	1,40	0,29	0,60	5,29	0,99	10,58	84
AC	13-38	4,95	3,96	2,26	3,20	1,50	0,30	0,48	5,48	0,74	10,96	88
C	38-56	5,19	3,99	1,47	4,30	1,80	0,31	0,43	6,84	0,68	13,68	91

- 4) Parcela: Arrarte
 Coordenadas geográficas: S34 17 22.3 W54 20 42.2
 Posición topográfica: ladera alta 12% pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.11b

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 23	Pardo muy oscuro (7,5YR 2,5/2); franco
E?	23 – 43	Pardo (10YR 4/3); franco limoso
Bt1	43 – 59	Pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); arcilloso; moteados abundantes de 2-5 mm
Bt2	59 – 70	Pardo y Pardo amarillo oscuro (10YR 4/3) y (10YR 4/6); arcilloso con gravilla
C	70 – 80	Pardo oliva (2,5 y 4/3); franco arcillo limoso
R	80 +	

- 5) Parcela: Arrarte
 Coordenadas geográficas: S34 17 22.6 W54 20 42.3
 Posición topográfica: ladera alta 12% pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.11b

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 20	Pardo muy oscuro (7,5YR 2,5/2); franco
E?	20 – 45	Pardo gris oscuro (10YR 4/2); franco limosos; concreciones de Fe y Mn; pocos moteados tenues con borde difuso pardo fuerte (7,5YR 4/6)
Bt1	45 – 57	Pardo gris muy oscuro y (10YR 3/2); arcilloso con poca gravilla; moteados abundantes netos pardo amarillo oscuro (10YR 4/6) de 2-5 mm; concreciones Fe y Mn
Bt2	57 – 74	Pardo amarillo oscuro (10YR 4/6) y en la matriz pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); arcilloso con abundante gravilla
C	74 – 84	Pardo amarillo suave y pardo muy oscuro (2,5YR 6/4) y (10YR 2/2); franco arcillo limoso con abundante gravilla
R	84 +	

4)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-23	5,14	4,17	5,54	4,60	2,10	0,40	0,26	7,36	0,60	14,72	92
E	23-43	5,44	3,99	1,24	1,90	1,90	0,50	0,13	4,43	1,24	8,86	78
Bt ₁	43-59	5,75	4,07	1,90	5,40	6,10	1,05	0,29	12,84	1,06	25,68	92
Bt ₂	59-70	6,00	4,32	1,45	6,80	7,30	1,26	0,34	15,70	0,34	31,40	98
C	70-80	6,52	4,77	1,15	7,20	6,90	1,30	0,28	15,68	0,07	31,36	100

5)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-20	5,03	3,87	4,87	2,50	1,80	0,50	0,23	5,03	2,35	10,06	68
E	20-45	5,44	3,87	1,44	1,60	1,70	0,55	0,10	3,95	1,64	7,90	71
Bt ₁	45-57	5,87	4,19	2,01	6,40	5,30	1,07	0,24	13,01	0,37	26,02	97
Bt ₂	57-74	6,56	4,81	1,16	8,80	7,00	1,15	0,32	17,27	0,04	34,54	100
C	74-84	6,92	5,12	1,07	10,90	8,00	1,32	0,39	20,61	0,01	41,22	100

- 6) Parcela: La Angelita
 Coordenadas geográficas: S34 15 00.9 W54 17 30.7
 Posición topográfica: loma aplanada 3% de pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.11b

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 - 24	Pardo (10YR 4/3); franco – franco arcillo limoso con arena gruesa
Bt1	24 -45	Pardo amarillo oscuro (10YR 4/6); arcilloso con gravilla abundante
Bt2	45 – 66	Pardo amarillo (10YR 5/6); arcilloso con gravilla abundante concreciones de Fe y Mn de 4 mm duras; moteados pardo fuerte (7,5YR 5/8) de 4 mm borde difuso netos
C	66 – 74	Pardo amarillo (10YR 6/6); franco arcillo limoso con gravilla; concreciones de Fe y Mn de 4 mm duras
R	74 +	

- 7) Parcela: La Angelita
 Coordenadas geográficas: S34 15 01.5 W54 17 31.5
 Posición topográfica: loma aplanada 3% de pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.11b

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 - 24	Pardo oscuro (10YR 3/3); franco arcillo limoso con arena gruesa
Bt1	24 -40	Pardo fuerte (7,5YR 4/6); arcilloso con gravilla abundante concreciones de Fe y Mn de 1 mm
Bt2	40 – 67	Pardo fuerte (7,5YR 5/6); arcilloso con gravilla abundante; concreciones de Fe y Mn de 4 mm duras; moteados rojo (2,5YR 4/8) mayores a 5 mm de borde difuso netos abundantes
C	67– 80	Rojo débil (10YR 5/4); franco arcillo limoso -arcilloso con gravilla abundante; concreciones de Fe y Mn mayores a 5 mm, duras
R	80 +	

6)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-24	5,16	4,19	3,35	2,70	1,30	0,26	0,48	4,74	0,30	9,48	94
Bt ₁	24-45	5,25	3,97	1,76	7,20	3,90	0,47	0,41	11,98	0,98	23,96	92
Bt ₂	45-66	5,52	4,15	0,94	7,40	3,70	0,47	0,60	12,17	0,43	24,34	97
C	66-74	5,65	4,28	0,76	7,20	3,30	0,45	0,39	11,34	0,23	22,68	98

7)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-24	5,08	4,06	3,01	2,60	1,40	0,33	0,58	4,91	0,47	9,82	91
Bt ₁	24-40	5,07	3,82	1,81	4,60	3,40	0,45	0,49	8,94	1,52	17,88	85
Bt ₂	40-67	5,25	3,89	1,26	6,30	4,50	0,55	0,45	11,80	1,32	23,60	90
C	67-80	5,36	4,06	0,59	6,90	4,60	0,53	0,43	12,46	0,94	24,92	93

- 8) Parcela: Sapiro
 Coordenadas geográficas: S34 21 33.9 W54 22 14.1
 Posición topográfica: ladera alta 5% de pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.11a

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 23	Franco arcillo limoso con gravilla abundante
Bt1	23 – 55	Arcilloso con gravilla abundante
Bt2	55 – 71	Arcilloso con gravilla abundante; concreciones de Fe y Mn, abundantes
BC	71 – 94	Arcillo limoso con gravilla abundante
C	94 +	Arcillo limoso

(Colorimetría): datos no disponibles

- 9) Parcela: Sapiro
 Coordenadas geográficas: S34 21 34.7 W54 22 13.
 Posición topográfica: ladera alta 5% de pendiente
 Material generador: TCD- Gneisses
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.11a

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 22	Franco arcillo limoso con gravilla abundante
Bt1	22 – 54	Arcilloso con gravilla abundante
Bt2	54 – 70	Arcilloso con gravilla abundante
BC	70 – 84	Arcillo limoso, con gravilla abundante
C	84 +	Franco limoso

(Colorimetría): datos no disponibles

8)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-23	5,09	4,21	3,01	2,80	2,00	0,34	1,01	6,15	0,53	12,30	92
Bt1	23-55	5,14	4,16	2,56	3,40	3,80	0,37	0,96	8,53	1,33	17,06	86
Bt2	55-71	5,11	4,08	1,03	2,70	3,60	0,38	0,69	7,37	1,34	14,74	85
BC	71-80	5,1	4,04	0,63	2,50	3,50	0,39	0,49	6,88	0,87	13,76	89
C	80++	5,14	4,09	0,55	2,60	3,80	0,33	0,40	7,13	1,29	14,26	85

9)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-22	4,87	3,98	2,36	2,40	2,00	0,40	0,70	5,50	0,80	11,00	87
Bt ₁	22-54	5,01	3,94	2,07	4,50	5,90	0,42	1,00	11,82	2,58	23,64	82
Bt ₂	54-70	5,12	3,9	0,90	4,80	6,90	0,50	0,54	12,74	1,91	25,48	87
BC	70-84	5,6	3,91	0,53	11,20	12,60	0,59	0,31	24,70	0,88	49,40	97
C	84++	6,03	3,97	0,47	13,90	14,00	0,69	0,27	28,86	0,62	57,72	98

- 10) Parcela: Papazián
 Coordenadas geográficas: S34 00 41.3 W54 52 58.4
 Posición topográfica: loma convexa 3 % de pendiente
 Material generador: TNP- Complejo La China/ Las Tetas
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.12

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 22	Pardo muy oscuro (10YR 3/1); franco con arena; transición clara
AB	22 – 32	Pardo muy oscuro (10YR 3/1); franco – franco arcillo limoso con gravilla
Bt1	32 – 43	Pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); franco arcillo limoso con gravilla abundante
Bt2	43 - 53	Pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); arcilloso con gravilla moteados
C	53 – 72	Pardo (10YR 4/3); arcilloso con gravilla con moteados pardo amarillo oscuro (10YR 4/6) de borde neto, mayores a 5 mm, y material desagregado amarillo (10YR 8/8)
R	72 +	

- 11) Parcela: Papazián
 Coordenadas geográficas: S34 00 40.6 W54 52 59.0
 Posición topográfica: loma convexa 3 % de pendiente
 Material generador: TNP- Complejo La China/ Las Tetas
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.12

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0 – 24	Pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); franco con arena; transición clara
AB	22 – 31	Pardo oscuro (10YR 3/3); franco – franco arcillo limoso con gravas
Bt1	31 – 43	Pardo amarillo (10YR 5/4); arcillo – arcillo limoso con gravilla abundante material desagregado pardo amarillo (10YR 6/6)
Bt2	43 - 70	Pardo gris muy oscuro (10YR 3/2); arcilloso con gravilla con moteados 2,5YR
C	70 - 80	Pardo gris oscuro y pardo amarillo (10YR 4/2) y (10YR 5/8); arcillo limoso
R	72 +	

10)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-22	4,82	4,07	3,32	3,50	1,70	0,37	0,18	5,75	0,64	6,39	90
AB	22-32	4,96	4,14	2,35	3,50	1,80	0,40	0,17	5,87	0,49	6,36	92
Bt ₁	32-43	5,08	4,17	1,81	3,50	1,80	0,65	0,14	6,09	0,44	6,53	93
Bt ₂	43-53	5,17	4,12	1,78	4,80	2,80	0,46	0,19	8,25	0,47	8,72	95
C	53-72	5,22	4,23	1,35	5,80	3,50	0,49	0,20	9,99	0,31	10,30	97

11)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A	0-24	4,66	3,87	3,69	2,50	1,70	0,37	0,18	4,75	1,79	9,50	73
AB	24-31	4,88	3,85	2,57	3,20	2,20	0,59	0,15	6,14	2,67	12,28	70
Bt ₁	31-53	5,39	4,02	1,69	5,70	3,80	1,07	0,18	10,75	1,33	21,50	89
Bt ₂	53-70	5,53	4,07	1,24	6,60	4,20	1,12	0,18	12,10	0,75	24,20	94
C	70-80	5,51	4,06	1,35	6,90	4,40	0,49	0,21	12,00	0,72	24,00	94

- 12) Parcela: La Escondida
 Coordenadas geográficas: S34 01 02.2 W55 03 48.9
 Posición topográfica: ladera media, 6-8 % de pendiente
 Material generador: TNP- Granito Cerro Aburrado
 Uso: Campo natural
 CONEAT: 2.11a

Horizonte	Profundidad	Descripción
A11	0 – 23	Pardo Amarillo y pardo amarillo oscuro ((10YR 3/4(h)) y ((10YR 5/4(s)); franco arcillo arenoso – franco arenoso
A12	23 – 41	Pardo amarillo oscuro y pardo oscuro; (10YR 4/4(s)) y ((10YR 3/3(h)); franco arcillo arenoso con gravilla
C	41 – 60	Pardo amarillo ((10YR 5/6(s)); franco arcilloso con gravilla
R	60 +	

- 13) Parcela: La Escondida
 Coordenadas geográficas: S34 01 02.2 W55 03 48.3
 Posición topográfica: ladera media, 6-8 % de pendiente
 Material generador: TNP- Granito Cerro Aburrado
 Uso: Forestación
 CONEAT: 2.11a

Horizonte	Profundidad	Descripción
A11	0 – 19	Pardo amarillo y pardo amarillo oscuro (10YR 5/4(s)) y (10YR 3/4 (h)); franco arcillo arenoso – franco arenoso con gravilla
A12	19 – 38	Pardo amarillo oscuro y pardo oscuro (10YR 4/4(s)) y (10YR 3/3(h)); franco arcillo arenoso con gravilla abundante
C	38 – 59	Pardo amarillo (10YR 5/6(s)); franco arcilloso con gravilla material alterado pardo amarillo (10YR 5/4)
R	59 +	

12)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A ₁₁	0-23	4,98	4,03	1,83	1,80	1,00	0,30	0,26	3,36	0,48	6,72	87
A ₁₂	23-41	5,14	4,09	1,29	2,60	1,20	0,33	0,15	4,28	0,41	8,56	91
C	41-60	5,22	4,14	1,10	4,00	2,00	0,35	0,17	6,52	0,65	13,04	91

13)

Hor.	Prof.	pH		M.O.	Complejo de Intercambio meq/100g							Sat.
		Agua	KCl		-----							
				%	Ca	Mg	Na	K	BT	Al	CIC	%
A ₁₁	0-19	4,74	3,8	2,13	0,98	0,71	0,33	0,23	2,25	1,54	4,50	59
A ₁₂	19-38	4,99	3,87	1,16	1,83	0,92	0,40	0,14	3,29	1,47	6,58	69
C	38-59	5,1	3,84	0,80	3,20	1,60	0,42	0,14	5,36	1,88	10,72	74