

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**CUANTIFICACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR
EUCALYPTUS DUNNII EN EDAD DE COSECHA EN SUELOS DEL LITORAL
OESTE URUGUAYO**

por

Alan Eyal YUSSIM BRODER

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2013

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. (MSc) Jorge Hernández

Ing. Agr. (Ph.D.) Amabelia del Pino

Ing. Agr. (MSc) Alejandro González

Fecha: 12 de agosto de 2013

Autor:

Alan Eyal Yussim

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica, que me formó como profesional, a mis directores y tutores Ing. Agr. (MSc) Jorge Hernández, la Ing. Agr. (Ph.D.) Amabelia del Pino, por darme la posibilidad de hacer esta investigación y sus aportes a mi trabajo. Al Ing. Agr. (MSc) Alejandro González y la empresa Montes del Plata por las facilidades brindadas en el trabajo de campo y todo el equipo del laboratorio del departamento de suelos y aguas, en especial a Gimena Arrarte.

A mi familia, por darme la oportunidad de estudiar, apoyándome durante toda la carrera, mis amigos y a mi compañera Mara por estar siempre.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1. CARACTERIZACIÓN DEL GÉNERO EUCALYPTUS.....	4
2.1.1. <u>Caracterización del Eucalyptus dunnii</u>	4
2.1.1.1. Características morfológicas.....	4
2.1.1.2. Centro de origen, adaptabilidad al medio e introducción a Uruguay.....	5
2.1.1.3. Características maderables y papeleras.....	5
2.2. DINÁMICA DE NUTRIENTES EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES.....	6
2.3. CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA.....	8
2.4. CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE NUTRIENTES.....	8
2.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES DE LAS PLANTACIONES FORESTALES.....	11
2.5.1. <u>Calidad del sitio</u>	12
2.5.2. <u>Edad de la plantación al momento de cosecha</u>	13
2.5.3. <u>Posición y contenido de nutrientes a lo largo de la troza</u>	17
2.5.4. <u>Componente del árbol cosechado</u>	19

3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	24
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS GRUPOS CONEAT DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES.....	24
3.1.1. <u>Suelos 9.1</u>	24
3.1.2. <u>Suelos 9.2</u>	26
3.1.3. <u>Suelos 9.6</u>	27
3.2. UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES.....	28
3.3. MUESTREO.....	30
3.3.1. <u>Selección de rodales para el estudio</u>	30
3.4. PROCESAMIENTO DE MUESTRAS DE PLANTA.....	32
3.4.1. <u>Pesado y secado</u>	32
3.4.2. <u>Preparación de muestras para análisis</u>	32
3.4.3. <u>Determinación de bases por digestión seca</u>	32
3.4.4. <u>Determinación de nitrógeno total</u>	33
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO.....	33
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	35
4.1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN TROZAS COMERCIALES.....	35
4.2. DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES A LO LARGO DEL FUSTE.....	43
4.3. EXPORTACIÓN DE NUTRIENTES.....	49
4.4. EFICIENCIA EN EL USO DE NUTRIENTES Y COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN BIOLÓGICA.....	55
4.5. PROPIEDADES DE SUELO DE LOS SITIOS EVALUADOS Y SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO DE NUTRIENTES EN LA BIOMASA AÉREA.....	58
5. <u>CONCLUSIONES</u>	60

6. <u>RESUMEN</u>	62
7. <u>SUMMARY</u>	63
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	64
9. <u>ANEXOS</u>	69

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Calidad de las fibras y propiedades físicas y Mecánicas del papel de distintas especies.....	6
2. Extracción de nutrientes de distintas especies.....	9
3. Total de nutrientes en corteza y fuste sin corteza, evaluados en tres tipos de suelo en rodales de <i>Eucalyptus grandis</i> de 14 años.....	12
4. Acumulación de Biomasa en fustes de <i>Eucalyptus grandis</i> a las edades de 3, 5 y 7 años.....	14
5. Datos de biomasa comercial y acumulación total de nutrientes en cinco plantaciones de <i>Eucalyptus regnans</i> de diferentes edades.....	16
6. Contenido de nutrientes para tres zonas del fuste (basal, media y ápice) en <i>E. grandis</i> de 7 años.....	17
7. Coeficiente de variación para la concentración de nutrientes en las tres porciones del fuste (basal, media y apical) de <i>E. globulus</i>	19
8. Biomasa total y nivel de nutrientes en distintos componentes de la biomasa aérea de <i>E. regnans</i>	20
9. Concentración de nutrientes en fracción foliar y madera.....	20
10. Concentración de nutrientes según compartimiento.....	21

11. Producción de biomasa y concentración de nutrientes de los distintos componentes de la biomasa aérea de una plantación de <i>Eucalyptus globulus</i> de 10 años de edad.....	22
12. Comparación entre contenidos de nutrientes en el fuste con corteza y sin corteza.....	22
13. Biomasa y concentración de nutrientes en diferentes componentes de la biomasa aérea de una plantación de <i>Eucalyptus dunnii</i> de 9 años de edad.....	23
14. Información de los rodales muestreados.....	29
15. Producción promedio de biomasa por árbol por año de <i>E. dunnii</i> , biomasa por hectárea por sitio y variables dasométricas asociadas al rodal.....	35
16. Concentración de nutrientes (Media, Desvío Estándar y Coeficiente de Variación) por fracción de biomasa para los cinco sitios evaluados.....	38
17. Producción de biomasa y extracción de nutrientes por árbol y por año en cada componente de cosecha de los 50 árboles evaluados, en los cinco sitios muestreados (Media, Desvío Estándar y Coeficiente de Variación).....	39
18. Tasa anual de extracción y exportación por Ha.....	41
19. Ordenes de Exportación de nutrientes por sitio.....	49
20. Valores promedio, desvío estándar y coeficiente de variación	

para la exportación anual de nutrientes en trozas comerciales de <i>Eucalyptus dunnii</i> por sitio.....	50
21. Porcentaje promedio, desvío estándar y coeficiente de variación de la concentración de los nutrientes en trozas comerciales de los diferentes sitios.....	51
22. Análisis de varianza para las tasa de exportación anual por árbol de <i>Eucalyptus dunnii</i> entre sitios.....	52
23. Exportación de nutrientes en trozas comerciales en plantaciones de <i>Eucalyptus regnans</i> en Nueva Zelanda.....	54
24. Eficiencia en el uso de los nutrientes para cinco plantaciones de <i>Eucalyptus dunnii</i>	55
25. Coeficiente de Utilización Biológica de nutrientes para los cinco rodales de <i>Eucalyptus dunnii</i>	56
26. Coeficiente de Utilización Biológica de los Nutrientes en la producción de Biomasa Comercial.....	57
27. Análisis de varianza para las diferencias en el CUB de los diferentes nutrientes entre sitios de <i>E. dunnii</i>	57
28. Coeficientes de determinación de las regresiones entre las concentraciones de Ca, Mg y K ponderadas en los perfiles de suelo (horizontes A y B), y el porcentaje de estos nutrientes en la madera, las cantidades absolutas exportadas en ella por árbol y por concentración.....	59

Figura No.

1. Localización de los sitios experimentales.....	30
2. Relación entre la producción promedio anual de biomasa por árbol de E.dunnii y el DAP para los sitios evaluados....	37
3. Relación entre la producción promedio anual de biomasa por árbol de E. dunnii y la altura para los sitios evaluados.....	37
4. Reciclaje potencial de los distintos nutrientes.....	42
5. Porcentaje de Nitrógeno en el disco basal y el disco No. 4 (7.20 m de altura en el árbol) para los cinco sitios evaluados.....	43
6. Porcentaje de Fósforo en el disco basal y el disco No. 4 (7.20 m de altura en el árbol) para los cinco sitios evaluados.....	45
7. Porcentaje de Potasio en el disco basal y el disco No. 4 (7.20 m de altura en el árbol) para los cinco sitios evaluados.....	46
8. Porcentaje de Calcio en el disco basal y el disco No. 4 (7.20 m de altura en el árbol) para los cinco sitios evaluados.....	47
9. Porcentaje de Magnesio en el disco basal y el disco No. 4 (7.20 m de altura en el árbol) para los cinco sitios evaluados.....	48

1. INTRODUCCION

El presente trabajo es uno de los requisitos obligatorios para la obtención del título Ingeniero Agrónomo de la UDELAR y consta de la cuantificación de la extracción de nutrientes en la especie *Eucalyptus dunnii* en suelos del litoral oeste uruguayo. Dicha tesis se encuentra en el marco del proyecto de investigación “Mejores prácticas de manejo de suelo en plantaciones y replantaciones de eucalipto y pino” y cuenta con la financiación de la Comisión Sectorial de Investigaciones Científicas (CSIC).

Una vez promulgada la Ley Forestal No. 15.939, en diciembre de 1987, este sector comenzó a cobrar cada vez mayor importancia dentro de la economía hasta consolidarse como uno de los mayores fuentes de ingresos al país. El Uruguay forestal en 1989 consistía en 45.996 hectáreas, concentradas principalmente en los departamentos de Rivera y Paysandú. Una vez vigente la Ley Forestal la tasa de plantación anual pasó de 2.800 ha/año para el 1975-1988, a más de 85.000 ha en 1998 (URUGUAY. MGAP. DGF, 2012). Dentro de las 17,6 millones de ha de superficie terrestre que posee Uruguay, unas 3,5 millones (20%) fueron declaradas por el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca como de prioridad forestal, de las cuales al 2011 se han forestado bajo proyecto unas 911.886 ha (URUGUAY. MGAP. DGF, 2012).

Los suelos declarados de prioridad forestal por el MGAP pertenecen a los grupos CONEAT de las zonas CIDE 7, 8, 9 y 2 (URUGUAY. MGAP. DNRNR, 2006). Los suelos de la zona 2 son generalmente suelos superficiales, con rocosidad y pedregosidad asociada, con texturas medias. La zona 7, que abarca parte de los departamentos de Rivera y Tacuarembó, posee suelos que se caracterizan por presentar una gran profundidad, ácidos con presencia de aluminio intercambiable y texturas muy livianas. Los suelos de la zona 8 agrupa

a las asociaciones de suelos de texturas arenosas, acidas y de fertilidad baja, formado por areniscas de las formaciones Devónicas y San Gregorio-Tres Islas, o materiales arenosos depositados sobre esas formaciones; finalmente, los suelos de la zona 9 se caracterizan por presentar suelos de textura media y liviana, medianamente ácidos, bien diferenciados y suelos pesados (CIDE, citado por URUGUAY. MAP, 1979)

Según Schumacher y Caldeira (2001), la sostenibilidad de producción de un sitio dentro de un ecosistema forestal solo puede mantenerse a lo largo de los años, cuando las salidas y entradas de nutrientes, se encuentren en equilibrio mediante una eficiente reposición de las pérdidas. Por lo cual es de vital importancia establecer las cantidades de biomasa producida y la exportación de nutrientes dentro de la misma.

Dentro del género *Eucalyptus*, la especie *Eucalyptus dunnii* ha venido cobrando cada vez más una rápida dispersión en el Uruguay a raíz de que se trata de una muy buena especie forestal para producción de pulpa de celulosa, que no presenta los problemas de adaptación de *E. globulus* en las zonas del norte del Río Negro. Analizando la superficie forestada bajo proyecto para dicha especie en el periodo 1975-2010, la misma presenta una superficie total de 53.916 has, siendo Paysandú el segundo departamento con mayor superficie ocupada (16.608 has.), superada por Río Negro con 22.623 has., con lo cual podemos ver que los suelos del Grupo CONEAT 9 son los que tienen mayor porcentaje de esta especie con respecto al resto de los suelos de prioridad forestal (URUGUAY. MGAP. DGF, 2012).

En relación al desarrollo que ha tomado la producción forestal en los últimos 25 años, ha surgido la necesidad a nivel académico y privado en

cuantificar la exportación de nutrientes y las propiedades físico-químicas de los suelos afectados de manera de conocer la sostenibilidad de los sistemas.

En consecuencia, se tomaron las zonas del grupo de suelos según CONEAT que representan en la actualidad la mayor presencia de *Eucalyptus dunnii* en el país para la realización del estudio.

Los objetivos planteados fueron:

- Cuantificar la exportación de nutrientes en las trozas comerciales de *Eucalyptus dunnii* con destino a la producción de pasta de celulosa, y su relación con las cantidades totales absorbidas en suelos desarrollados a partir de areniscas del litoral oeste del país.
- Relacionar la magnitud de la extracción de nutrientes con algunas propiedades químicas del suelo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CARACTERIZACIÓN DEL GÉNERO EUCALYPTUS

El género *Eucalyptus* pertenece a la familia de las Mirtaceas y tiene alrededor de 600 especies originarias de Australia e islas vecinas, en donde su dispersión está directamente relacionada con las distintas situaciones ecológicas, las cuales vienen condicionadas por los tipos de suelos y condiciones climáticas. Muchas especies presentan alta adaptabilidad a diferentes sitios forestales y otras son muy sensibles a los cambios de condiciones, sobre todo edáficas. Dichos comportamientos con respecto a las diferentes sitios y las características de las distintas procedencias son fundamentales a tener en cuenta en un programa de introducción de especies (Brussa, 1994).

2.1.1. Caracterización del *Eucalyptus dunnii*

2.1.1.1. Características morfológicas

El *E. dunnii* es un árbol de fuste recto, follaje denso y péndulo. La corteza persistente en la base del tronco, en el resto del tronco caduca en largas fajas.

Las primeras hojas son opuestas (10-15 pares) y las adultas alternas, pecioladas (2-3 cm), lanceoladas (10-20 x 2-4 cm), ápice agudo, acuminado, base cuneada, levemente discoloras a con-coloras; nervaduras secundarias oblicuas.

Las flores (7) están dispuestas en inflorescencias simples, axilares, con pedúnculos achatados (1,5-2 cm); botones florales ovoides (0,7 x 0,3 cm), con pedicelos (0,5 cm) angulosos, opérculo levemente rostrado, más largo que el hipantio. Florece a fines de primavera y en verano. Los frutos son hemisféricos

(0,6 x 0,6 cm) disco convexo, notorio, exserto, valvas (3-4) salientes, anchas y fuertes (Brussa, 1994).

2.1.1.2. Centro de origen, adaptabilidad al medio e introducción a Uruguay

Naturalmente crece en una pequeña área en la región central-este de Australia (28°-30°15'S), en zonas continentales principalmente, desde 300 a 750 m sobre el nivel del mar; clima templado, con un promedio de temperaturas máximas de 27-30 °C y mínimas de 0-3°, con hasta 60 heladas por año; húmedo, con precipitaciones estivales del orden de 1000 a 1750 mm anuales (Boland et al., citados por Brussa, 1994). El *E. dunnii* es considerada más resistente al frío que *E. grandis* y *E. saligna* (Golfari, citado por Brussa, 1994).

Crece en suelos de alta fertilidad y capacidad de retención de agua y buena aereación siendo sensible al mal drenaje (Kelly, Chippendale y Johnston, Boland et al., citados por Brussa, 1994).

La introducción del *E. dunnii* al igual que otras en el país para producción comercial es reciente, trayéndose como una especie promisoría después de constatarse que el *E. globulus* presentara una gran variabilidad de tasas de crecimiento en distintas regiones del país (Doldán, 2008). En el Arboretum Lussich, en la zona de "Quinta de Benito" existe un ejemplar de esta especie de muy antigua data (Brussa, 1994).

2.1.1.3. Características maderables y papeleras

El *E. dunnii* tiene duramen amarillento, de poca durabilidad, densidad seco al aire de 800 kg m⁻³, empleado en construcciones livianas (Boland et al., citados por Brussa, 1994)

Con respecto a las condiciones papeleras a continuación se presenta en el siguiente cuadro indicando datos sobre la calidad de las fibras y propiedades físicas y mecánicas del papel comparando distintas especies.

Cuadro 1: Calidad de las fibras y propiedades físicas y mecánicas del papel de distintas especies

	<i>E.grandis</i>	<i>E.dunnii</i>	<i>E.globulus</i>	<i>E.globulus jeerelang"</i>	<i>E.maidenii</i>
Rendimiento Bruto (%)	51.7	51.1	54.5	51.4	51.4
Alcali Activo (%)	15.5-18.0	15.6-18.5	12.8-13.6	14.3-18.3	14-18.7
Grado de Blanco (%ISO)	87.4	90.9	89.3	89.0	90.4
°SR	24	25	23	23	25
Índice de Tracción (N.m/g)	75.9	72.8	86.5	74.5	75.7
Índice de Desgarro (mN.m ² /g)	9.4	8.9	9.5	9.7	9.1

Fuente: adaptado de Doldan et al. (2008)

En el cuadro anterior podemos observar que el *E. dunnii* tiene muy buenas aptitudes papeleras con respecto a las demás especies, teniendo un rendimiento bruto de 51.1%, un porcentaje de álcali activo de entre 15.6 y 18.35.

2.2. DINÁMICA DE NUTRIENTES EN LOS ECOSISTEMAS FORESTALES

Según Switzer et al. (1972), Los ecosistemas forestales pueden llegar a tener hasta 3 ciclos en los que respecta al ciclaje de nutrientes:

- Ciclo Bioquímico: Ciclo correspondiente a la transferencia interna de nutrientes dentro de las plantas.
- Ciclo Biogeoquímico: Ciclo correspondiente a la transferencia de elementos entre suelo, planta y atmósfera.
- Ciclo Geoquímico: Ciclo correspondiente a aquel que trata de las entradas y salidas de elementos minerales entre los distintos ecosistemas

Según Fernández (2002), es válido decir que la oferta de nutrientes, depende de cuantos de estos hay disponibles, así como también de sus tasas de regeneración y liberación de los diferentes reservorios. Hay distintas fuentes de nutrientes dentro de un ecosistema forestal, donde la más importante se ubica en el suelo, particularmente en la materia orgánica, en minerales sin meteorizar, en el complejo de intercambio, en compuestos de poca solubilidad, o bien en la arcillas. Por lo tanto podría decirse que al estudiarse el ciclo de nutrientes en las plantaciones forestales deben tomarse en cuenta los procesos generadores de entradas al medio, los traspasos internos, y los aspectos que marcan que tan intensas sean las pérdidas, Para el caso de los ecosistemas sin intervención del hombre, esos procesos se igualan suponiéndose que se da un equilibrio dinámico.

La caída de hojarasca representa el mayor proceso de transferencia de nutrientes de las partes aéreas hacia el suelo mediante descomposición y mineralización de las sustancias orgánicas y el conocimiento de este aporte en elementos nutritivos es útil para orientar el manejo nutritivo de las plantaciones de *Eucalyptus spp.* (Vitousek et al., citados por Schlatter et al., 2006).

A su vez Swift et al., citados por Schlatter et al. (2006) señalan que son tres los grupos de variables que condicionan las tasas de descomposición de los restos de cosecha: clima (principalmente humedad y temperatura), composición química del mantillo, y metabolismo de macro y microfauna (invertebrados y microorganismos).

Según Fisher et al. (1999) es la microfauna del suelo la que proporciona en forma más rápida el abastecimiento de nutrientes al ecosistema forestal si se analiza el complejo de entradas de nutrientes al sistema.

2.3. CUANTIFICACIÓN DE BIOMASA

Según Noble et al., citados por Geldres et al. (2006) hay una biomasa óptima para cada sitio que varía en función de la calidad del mismo, siendo ésta determinada por la fertilidad natural, índice de precipitaciones, prácticas silviculturales y del contenido de materia orgánica que indica la capacidad de retención del agua.

Según Santana et al. (2000), la cuantificación de la biomasa en plantaciones de *Eucalyptus spp*, es de suma importancia así como también el contenido de nutrientes y su eficiencia de utilización, dado que los elementos climáticos y las características físicas y químicas del suelo, afectan la producción de la misma.

En un ecosistema forestal, la cosecha de biomasa es el componente de mayor importancia dentro del conjunto de salida de nutrientes, siendo la erosión, lixiviación o pérdidas gaseosas muy pequeñas en relación a la remoción de trozas de madera (Miller y Morris, 1994).

Según Schumacher y Caldeira (2001), es de vital importancia tener información acerca de cuánta biomasa se produce y cuantos nutrientes son exportados por las especies forestales en un ecosistema forestal ya que la capacidad productiva de un sitio solo será sostenible para las futuras generaciones cuando las pérdidas de nutrientes, sean repuestas con una alta eficiencia.

2.4. CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE NUTRIENTES

La cuantificación de la extracción de nutrientes en plantaciones forestales está directamente relacionada a la sostenibilidad del sistema productivo. En 1955 Rannie, citado por Sharma (2004) consideró que una gran

cantidad de nutrientes son inmovilizados en las plantaciones y cuestionó la capacidad de los suelos de abastecer por periodos prolongados, los nutrientes requeridos para mantener continuas rotaciones. En consecuencia de eso comenzaron a realizarse estudios sobre exportación de nutrientes por los arboles a partir de estimativos de biomasa.

En las investigaciones de Ramam, citado por Sharma (2004) donde se estudiaron exportación de nutrientes en distintas especies se observó el siguiente orden descendente:

N: Pinus>Tectonagrandis>Shorea robusta > Araucaria

K: Pinus> Araucaria >Tectonagrandis>Shorea robusta

Ca: Araucaria >Tectonagrandis>Shorea robusta >Pinus

En el Cuadro 2 se presenta un cuadro comparativo de extracción de nutrientes de distintas especies:

Cuadro 2: Extracción de nutrientes de distintas especies.

ESPECIE	N	P	K	Ca	Mg
			kg ha ⁻¹		
Tectona grandis	478	91	-	680	-
Shorea robusta	339	37	-	380	-
Eucalyptus Híbrido	59	11	43	169	16
P. patula (12 años)	51	3	22	23	13
Cedrus deodara	21	1.3	32	27	805
D.sisoo (24 años)	106	6	33	198	14

Fuente: adaptado de Sharma (2004)

La extracción de nutrientes por lo general está relacionada directamente a la biomasa, ya sea en forma lineal o exponencial durante los períodos de

juvenilidad y con incrementos decrecientes al alcanzar la madurez (Sharma, 2004).

En un trabajo de George, citado por Sharma (2004) reportó que 120 Mg ha⁻¹ del total de biomasa en plantaciones de *Eucalyptus* estaban constituidas en un 69 % de biomasa aérea, la cual acumulaba el 42%, 50% y 35 % del N, P y K del total exportado, correspondiendo a 168, 47 y 104 kg ha⁻¹, respectivamente.

En el trabajo de Santana et al. (1999) se manifiesta el enorme significado que tiene la cuantificación de nutrientes en los sistemas forestales, ya sea en el suelo o en la planta de forma de definir estrategias apuntadas a mantener la sostenibilidad de los ecosistemas forestales. En sitios con baja fertilidad natural, la extracción de elevadas cantidades con la cosecha forestal a lo largo de los ciclos productivos llevaría a la disminución de la capacidad productiva de un suelo por lo cual es fundamental apuntar a un mayor entendimiento de la aptitud productiva de los distintos sitios, especialmente con la dinámica de nutrientes para tener ecosistemas forestales sostenibles con un manejo apropiado.

A su vez Grove et al., citados por Geldres et al. (2006) indican que para establecer los requerimientos nutricionales de una especie forestal es necesario conocer su balance nutricional en el sitio a través de las entradas y salidas desde en el sistema, su potencial productivo mediante la acumulación de biomasa, así como también su dinámica dentro de la planta, la que se conoce a través de su circulación y formación de la materia orgánica.

Cuando se refiere al *Eucalyptus spp.* en la cosecha se da una considerable substracción de nutrientes, cuyo grado depende de cuales compartimentos del árbol son extraídos, por lo cual sería inminente la limitante futura de nutrientes en el suelo de no reponerse los mismos a través de

fertilizaciones y/o liberación de los minerales disponibles en el perfil edáfico, (Spangenberg et al., citados por Santana et al., 2000).

Además de la cosecha, también existen múltiples prácticas que provocan la reducción de nutrientes en el suelo, tales como el establecimiento de las rotaciones siguientes. Dichas reducciones se explican por la modificación de la capacidad del suelo para retener nutrientes al hacer la transición de rodal a un nuevo ciclo forestal, más restos de cosecha y malezas. En este proceso hay un aumento de la erosión, reducción de la infiltración y aumento del escurrimiento superficial, dándose pérdidas por volatilización, lixiviación y erosión. A su vez, una vez dada la reforestación a medida que pasa el tiempo se da una recuperación del sistema, donde los ingresos pasan a superar las salidas restableciéndose la biomasa. Como ingresos se puede entender la fijación biológica de N, entradas atmosféricas, meteorización, fertilizaciones y sedimentación (Fernández, 2002).

En los trabajos de George, citados por Sharma (2004) se manifiesta que el *E. globulus* en comparación a otras especies extrae menor cantidad de N que *E. grandis*, *E. hybrid*, y *A. mearnsii*, pero remueve más K.

2.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES DE LAS PLANTACIONES FORESTALES

Al cuantificar el contenido de nutrientes en la biomasa forestal, se pudo observar que están estrechamente relacionados a los siguientes factores:

1. Calidad del sitio.
2. Edad de la plantación al momento de cosecha.
3. Posición y contenido de nutrientes a lo largo del tronco.
4. Componente del árbol cosechado.

2.5.1. Calidad del sitio

Noble y Herbert, citados por Geldres et al. (2006) manifiestan que cada sitio tiene una biomasa óptima sostenible, que está directamente relacionada con la reserva disponible de nutrientes en el suelo, el índice de precipitaciones, los tratamientos silvícolas y la capacidad de retención de agua del perfil edáfico.

En Goya et al. (1997) investigando la dinámica de nutrientes en sitios de suelos arcillosos y arenosos de la provincia de Entre Ríos, Argentina, encontró que en estos últimos las concentraciones de N, P, Ca y Mg en la madera son superiores que en los suelos de textura pesada. En dicho trabajo se estudiaron los contenidos de nutrientes en diferentes sitios plantados con *Eucalyptus sp.* y se encontró que en las rodales de mayor biomasa, la acumulación de nutrientes en la madera era mayor, lo cual estaría mostrando una relación directamente proporcional con la producción de materia seca.

Cuadro 3: Total de nutrientes en corteza y fuste sin corteza, evaluados en tres tipos de suelo en rodales de *E. grandis* de 14 años.

Nutriente	SUELO	Corteza (%)	Fuste sin corteza (%)
Ca	Arenoso	56.3	24.7
	Mestizo	63.1	22.3
	Arcilloso	79.3	9.2
Mg	Arenoso	35.9	27.4
	Mestizo	44.1	22.1
	Arcilloso	46.1	22.7
K	Arenoso	31.5	34.7
	Mestizo	36.2	34.4
	Arcilloso	30.8	38.7
P	Arenoso	32.3	35.1
	Mestizo	48.3	22.8
	Arcilloso	45.2	30.4
N	Arenoso	10.4	60.6
	Mestizo	18.7	51.8
	Arcilloso	21.6	21.2

Fuente: adaptado de Goya et al. (1997)

Santana et al. (2000) concluyen que para la producción de biomasa forestal, las condiciones climáticas del sitio es un factor determinante. El índice de lluvias y la disponibilidad de recursos hídricos así como de nutrientes en los suelos, condicionada por las características físicas y químicas de los mismos, resultaron ser esenciales en la productividad de los diferentes sitios. Los buenos atributos de un sitio se manifiestan en una alta producción de biomasa que es propiciada por una considerable absorción y reserva de nutrientes haciendo del clima y del suelo los componentes determinantes en la calidad de un sitio. En dicho trabajo se cuantificó la cantidad de biomasa y nutrientes de *Eucalyptus saligna* en distintas plantaciones del estado de San Pablo en Brasil, encontrándose que las mismas se diferencian en su capacidad de producción, hallando una mayor producción en las que contaban con suelos de alto contenido arcilloso que en aquellas donde los suelos eran de texturas livianas. Esto se correlaciona con un mayor contenido de materia orgánica en el horizonte superficial, lo cual indica una retención de agua y de nutrientes claramente superior que son factores directamente proporcionales a la acumulación de biomasa (Santana et al., 1999).

2.5.2. Edad de la plantación al momento de cosecha

Según Grove et al. (1996) hay tres etapas en el ciclo de un árbol con respecto a la demanda de nutrientes. En el primer período se prioriza la expansión del área foliar con un alto contenido de nutrientes, los cuales están destinados a abastecer la demanda de productos fotosintéticos para el activo crecimiento. Esta fase de desarrollo se caracteriza por el aumento en la tasa de absorción de nutrientes, que alcanza su pico máximo al momento de cierre de copa. El mismo autor identifica una segunda fase en la cual el incremento de la biomasa foliar decrece hasta estabilizarse y la mayor parte de los productos fotosintéticos se destinan a formar el duramen. Durante esta etapa, se da la máxima expansión radicular en el suelo, culminando el desarrollo del ciclo de

nutrientes con una tercera etapa en la que la mayoría de los productos del proceso fotosintético se destinan al mantenimiento en pie de las plantaciones.

Bellote et al. (2001) estudiaron la cuantificación de biomasa y nutrientes en troncos de *Eucalyptus grandis* a distintas edades en Brasil, y se concluyó que la acumulación de nutrientes fue mayor entre el tercer y quinto año (23%) que entre los cinco y siete años de edad (20%). Los niveles de Ca, K y P aumentaron de forma continua entre el tercer y séptimo año, mientras que el N se niveló a partir del quinto año, y el Mg decreció.

Cuadro 4: Acumulación de Biomasa en fustes de *Eucalyptus grandis* a las edades de 3, 5 y 7 años.

EDAD	Biomasa	N	P	K	Ca	Mg
3	38.8	44.5	5.5	43.9	44.9	11.7
5	88.8	78.5	10.6	56	87	28.5
7	106.8	78.1	18.4	67.1	107.9	23,2

Fuente: adaptado de Da Silva et al. (2001)

Por otro lado Brañas et al. (2000) constataron desigualdades entre plantíos jóvenes y adultos para los distintos nutrientes en el Noroeste de España, para *Eucalyptus globulus*. En las plantaciones tempranas se encontraron niveles algo superiores de N, mientras que en las maduras se notaron contenidos más elevados de Ca y Mg.

Por otro lado, Ericsson et al., citados por González (2008) declaran que los turnos cortos de cosecha que se asocien con el alto contenido de nutrientes en los árboles, indefectiblemente aumentarán las mermas de nutrientes por unidad de tiempo y espacio.

Frangi et al., citados por Fernández (2002) enfatizaron el impacto sobre el balance de nutrientes en caso de acortar el turno de la plantación,

observándose que los kg de nutriente por kg de biomasa producida, fueron superiores para los ciclos de 8 años que para los de 29 años. Por lo cual se concluyó que el contenido de nutrientes varía con respecto al período de desarrollo de una plantación de *Eucalyptus grandis*. A su vez Fernández (2002) expone que a medida que se extiende la duración del ciclo, aumenta la eficiencia de uso sobre los nutrientes, (kg de biomasa producida por kg de nutriente).

En el trabajo de Foelkel (2005) se analiza la evolución de las diferentes fracciones de la biomasa en relación a la edad, donde se revela que a medida que el árbol crece, la corteza, ramas y raíces disminuyen su proporción. En plantaciones de *Eucalyptus spp* en Brasil encontraron que la copa de los árboles representa alrededor del 80% del peso total de la biomasa hasta los 2 años de edad, a su vez a los 7 años, la madera alcanza al 70 o 75%.

Según Bellote et al. (1980) trabajando con *Eucalyptus grandis* HILL ex-MAIDEN en Brasil concluyeron que la suma exportada de nutrientes varía en función de la edad de la plantación analizada. Desde el inicio de la rotación hasta el sexto año se observó un continuo aumento de absorción de nutrientes en la madera, llegando a su punto de inflexión al año siete donde comienza a darse una tasa constante a decreciente. Goya et al. (2001) coinciden totalmente con el autor anterior ya que manifiestan que la remoción de nutrientes es menor cuanto más avanzada sea la cosecha en el turno. A pesar de ello, Goya et al. (1997) observaron que la absorción del Ca crece con la edad.

En un estudio sobre *E. grandis* (Bellote et al., 1980) encontraron que la mayor remoción de nutrientes en el periodo de juvenilidad, ocurrió en el sexto año, realizando una muy importante reserva de fósforo así como de nitrógeno al siguiente año.

En las investigaciones de Frederick et al. (1985) en Nueva Zelanda donde se analizaron los niveles de nutrientes en 5 plantaciones distintas de *Eucalyptus regnans* que oscilaban entre los 4 y 17 años de edad pudo observarse un notorio aumento en la biomasa a medida que transcurría el tiempo. En cuanto a la extracción de nutrientes se constató un incremento constante hasta los 10 años y de fluctuación para el periodo comprendido entre los 10 y 17 años. Se deben considerar que las plantaciones no eran las mismas por lo cual es muy importante considerar las diferencias genéticas y de suelos de cada sitio al analizar los datos.

Cuadro 5: Datos de biomasa comercial y acumulación total de nutrientes en cinco plantaciones de *Eucalyptus regnans* de diferentes edades.

EDAD (Años)	BIOMASA Mg Ha ⁻¹	N	P	K	Ca
kg ha ⁻¹					
4	42.2	41.5	6.6	66.1	19.2
7	142.7	113.1	15.8	173.9	52.2
10	242.9	236.1	32	277.4	103.4
13	228.2	156.1	18	241.5	81.6
17	381.8	208.7	36.2	214.8	106.9

Fuente: adaptado de Frederick et al. (1985)

Laclau et al. (2000) manifiesta que a una edad avanzada, las especies forestales disminuyen el cociente albura/duramen, lo que significa una utilización más eficiente de nutrientes dado que albura presenta mayor contenido de nutrientes en relación al duramen. Al considerar solamente la madera, se constató un notorio descenso de la concentración en todos los nutrientes móviles (Mg, K, N y P) al séptimo año del ciclo una plantación de *Eucalyptus spp* en el Congo y el nutriente que manifestó en mayor tenor dicha dinámica fue el K. El Ca (nutriente inmóvil) por su lado presentó un comportamiento inverso. En dicho trabajo se evaluó la dinámica de nutrientes en una plantación de *Eucalyptus spp* con individuos de igual genotipo a la edad de uno y siete años, encontrándose diferencias para el almacenamiento de

nutrientes y biomasa. La absorción de P y de Ca fue directamente proporcional al total de biomasa durante todo el ciclo, a su vez el Mg, la mayor parte fue acumulada durante los primeros 2 años, y con respecto al N y K el 50 % y 65% se acumularon a los dos años de efectuada la plantación respectivamente.

De la bibliografía consultada se concluye que al inicio del ciclo la acumulación de nutrientes aumenta a muy altas tasas, pero luego estas disminuyen, por lo cual la eficiencia de utilización de los mismos aumenta y con eso la acumulación de nutrientes se enlentece. Debe destacarse de todos modos que existen diferencias entre nutrientes en su proceso de acumulación.

2.5.3. Posición y contenido de nutrientes a lo largo de la troza

Según el trabajo realizado por Bellote et al. (1980), los nutrientes a lo largo del fuste se distribuyen de forma desigual, variando las concentraciones según el mineral analizado y la altura en el tronco. A continuación se muestran los resultados de dicha publicación en el siguiente cuadro.

Cuadro 6: Contenido de nutrientes para tres zonas del fuste (basal, media y ápice) en *E. grandis* de 7 años.

PORCION	N	P	K	Ca	Mg
			g.arbol ⁻¹		
Basal	26.15	1.80	13.04	60.72	6.97
Media	128.4	10.57	92.92	182.36	35.79
Apical	116.34	9.34	72.55	143.84	35.79

Fuente: adaptado de Bellote et al. (1980)

A su vez Foelkel (2005) manifiesta que el contenido de nutrientes es dependiente de la altura, y de si se trata de duramen o albura. A su vez se manifiesta que los niveles de nutrientes en la base y en el ápice superan considerablemente a los contenidos encontrados en la zona media del fuste.

En el trabajo de González (2008) en plantaciones de Uruguay donde se estudiaron los contenidos de nutrientes a lo largo del tronco de *Eucalyptus*

globulus se encontraron diferencias con los anteriores autores. Se concluyó que su distribución no tuvo variaciones considerables a distintas alturas de la troza, pero se encontró para N una pequeña reducción hacia el ápice, así como para K una dinámica inversa.

A su vez también en Uruguay (Giosa, 2009) estudió la distribución de N, P, K, Ca y Mg, en sitios del litoral oeste plantados con *Eucalyptus grandis* con turnos de cosecha de 10 y 12 años. Con respecto a la distribución del N se pudo evidenciar niveles decrecientes hacia la mitad del fuste y a partir de éste se dio un aumento hacia el ápice. En los casos del P y Mg, estos exhibieron un crecimiento en sus niveles desde la sección basal hacia la sección apical, el K presentó una conducta análoga pero con un crecimiento menos acentuado en la altura media del fuste. El Ca por su lado mostró una distribución opuesta al resto de los nutrientes mencionados anteriormente ya que su dinámica fue la disminución en sus niveles a medida que aumentaba en altura hasta el ápice.

Por otro lado también a nivel nacional (Varela, 2009) estudió la acumulación de nutrientes a lo largo del fuste en sitios sobre suelos de basamento cristalino de la zona este del país con *Eucalyptus globulus* en rotaciones de 10 años. Con respecto al N se observó una mayor concentración en la base y en el ápice con respecto a la zona media del tronco. En el caso del P se constató un pequeño aumento de la concentración hacia el ápice, así como también el K, con la diferencia que el aumento de este nutriente fue de forma mucho más significativa. Al analizar el Calcio, se notó un aumento desde la troza basal hacia la apical, y por último el Mg presentó un comportamiento análogo al N, dado que se observaron mayores concentraciones en la base y en el ápice con respecto a la zona media del fuste.

Cuadro 7: Coeficiente de variación para la concentración de nutrientes en las tres porciones del fuste (basal, media y apical) de *E. globulus*.

Zona del Fuste	N	P	K	Ca	Mg	Promedio
	%	%	%	%	%	%
Disco Basal	23	68	46	26	33	39
Disco Medio	16	47	49	30	29	34
Disco Apical	23	36	42	28	33	32
Promedio	21	50	46	28	22	

Fuente: adaptado de Varela (2009)

2.5.4. Componente del árbol cosechado

Brañas et al. (2000) observaron que en *Eucalyptus globulus*, entre los 14 y 18 años de edad la madera es el componente con los menores contenidos de nutrientes y que la corteza cuenta con las mayores concentraciones de Ca y Mg, así como las muestras foliares contienen los niveles más altos de N, P y K.

Foelkel (2005) analizó plantaciones de *Eucalyptus spp.* en un suelo de textura liviana de Brasil, con escasos niveles de carbono orgánico al séptimo año, concluyéndose que la corteza extraía alrededor de 40 kg ha⁻¹ de N; 9 kg ha⁻¹ de P; 55 kg ha⁻¹ de K; 275 kg ha⁻¹ de Ca y 35 kg ha⁻¹ de Mg. A su vez si consideramos el conjunto de ramas, ramitas, y hojas, este conjunto contiene aproximadamente de 130 kg ha⁻¹ de N; 9 kg ha⁻¹ de P; 75 kg ha⁻¹ de K; 70 kg ha⁻¹ de Ca, y de 25 kg ha⁻¹ de Mg. En dicho trabajo se revelan las concentraciones de cada nutriente en cada compartimiento, alegando que el componente corteza puede llegar a acumular del 25 a 30% de Mg, 45 al 55% del Ca y del 15 al 20% del K. Por su lado la madera acumula entre el 50%, 60% y 43% del K, P y Mg respectivamente.

Frederick et al. (1985) cuantificaron la exportación de nutrientes en distintos compartimentos de la biomasa para *Eucalyptus regnans* de 10 años de edad. Un resumen de sus resultados se presenta en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Biomasa total y nivel de nutrientes en distintos componentes de la biomasa aérea de *Eucalyptus regnans* de 10 años de edad

Nutriente	Hojas	Ramas	Madera	Corteza	Total
kg ha ⁻¹					
N	270	92	236	64	662
P	20	14	32	10	76
K	98	93	277	130	598
Ca	93	125	103	265	586
Mg	29	28	34	37	128
Mg ha ⁻¹					
Biomasa	16	29	243	19	306

Fuente: adaptado de Frederick et al. (1985)

Según Schumacher y Caldeira (2001), en su trabajo sobre *Eucalyptus maidenii*, se encontró que la fracción foliar posee una mayor proporción de nutrientes con respecto a la madera, encontrando que ésta junto a la corteza contienen el 67.9% del Ca y el resto se encuentra distribuido entre ramas y hojas. A continuación se presentan datos de este estudio (Cuadro 9).

Cuadro 9: Concentración de nutrientes en fracción foliar y madera

NUTRIENTE	HOJA (%)	MADERA (%)
N	60	29
P	45	28
K	33	40
Ca	23	12.5
Mg	29.5	34

Fuente: adaptado de Schumacher y Caldeira (2001)

A su vez, Leles et al., citados por Freitas (2004), en su trabajo para *E. camaldulensis* y *E. pellita* coinciden en que la corteza tiene los mayores tenores de Ca, explicado esto debido a la baja movilidad de este mineral en el floema y que además forma parte del proceso de lignificación de las paredes celulares.

En Rodríguez-Soalleiro et al. (2004), investigando rodales de *E. globulus* con 10 años, sobre suelos de muy bajo pH y con reducida capacidad de intercambio catiónico en España, se determinó que los niveles de nutrientes varían en función de la fracción de biomasa que se considere, a su vez se constató que la madera siempre tuvo las concentraciones más bajas. A continuación se presenta un cuadro demostrativo con la variación por fracción.

Cuadro 10: Concentración de nutrientes según compartimiento.

COMPARTIMIENTO	N	P	K mg g ⁻¹	Ca	Mg
Madera	1.6	0.09	0.7	0.6	0.18
Corteza	4.5	0.2	2.5	6.63	2.24
Hojas	14.8	0.55	3.8	6.34	1.84
Ramas Finas	3.9	0.20	2.2	3.29	0.92
Ramas Gruesas	3.5	0.18	1.7	2.21	0.78

Fuente: adaptado de Rodríguez-Soalleiro et al. (2004)

En Uruguay, González (2008) investigó la remoción de nutrientes en los diferentes componentes de biomasa aérea para plantaciones de *Eucalyptus globulus* con turnos de cosecha de 10 años, hallando que las trozas representan un 77 % del total de la biomasa aérea y un 23 % a los residuos de cosecha depuestos en la cobertura del suelo. Asimismo se revelaron las concentraciones de cada nutriente en todas las porciones de la biomasa aérea. La corteza y las ramas fueron los compartimientos con mayores concentraciones de Mg y Ca, así como las hojas presentaron los niveles más altos para N y P. Con respecto a la madera, se observó que esta fracción tenía los niveles más bajos de nutrientes. Un resumen de sus resultados se presenta en el Cuadro 11.

Cuadro 11: Producción de biomasa y concentración de nutrientes de los distintos componentes de la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus globulus* de 10 años de edad.

Componente	Biomasa	N	P	K	Ca	Mg
	Mg ha ⁻¹			g kg ⁻¹		
Corteza	15.8	2.3	0.25	5.5	30	2.4
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
Total	137.6	28.3	1.31	23	78.5	7.1

Fuente: adaptado de González (2008)

En los estudios efectuados por Santana et al. (1999) para las especies *E. grandes* y *E. saligna* en 5 sitios del estado de San Pablo (Brasil) se hace mención a la importancia de dejar los residuos de cosecha en el suelo, indicando que si se dejan en el campo las ramas, hojas y corteza se dejarían de extraer en promedio un 47 % del N, 60 % del P, 45 % del K, 73% del Ca y 72 % del Mg, quedando en el sistema aproximadamente 27 Mg ha⁻¹ de biomasa, constituida por la corteza y por la copa en un 50% ambas fracciones.

Freitas et al. (2004), estudiando plantaciones de *E. grandis* de 9 años en el municipio de Alegrete (San Pablo, Brasil), confirma la hipótesis de que la cosecha del fuste con corteza causa un mayor impacto negativo sobre el suelo generando una mayor exportación de nutrientes. En el siguiente cuadro se muestran los resultados de dicha investigación expresados como fracciones del total de nutrientes de la biomasa aérea:

Cuadro 12: Comparación entre contenidos de nutrientes en el fuste con corteza y sin corteza.

Nutriente	Fuste sin corteza (%)	Fuste con corteza (%)	Variación Fuste c/corteza vs Sin corteza (%)
Ca	21	70	+49
Mg	24	75	+51
N	63	81	+18
P	53	83	+30
K	46	55	+9

Fuente: adaptado de Freitas et al. (2004)

Con respecto al *Eucalyptus dunnii*, Hernández et al. (2009) exhibió los valores de nutrientes extraídos por unidad de superficie en una rotación cosechada al noveno año de plantación.

Cuadro 13: Biomasa y concentración de nutrientes en diferentes componentes de la biomasa aérea de una plantación de *Eucalyptus dunnii* de 9 años de edad.

	Biomasa	N	P	K	Ca	Mg
	Mg ha ⁻¹			g kg ⁻¹		
Hojas	13	14.2	1.0	7.4	14.5	2.2
Ramas	22	3.5	0.3	4.7	9.5	1.1
Corteza	29	2.4	0.4	4.7	27.3	2.2
Madera no comercial (Ø≤8cm)	28	1.2	0.2	1.9	2.8	1.0
Madera comercial (Ø>8cm)	144	0.9	0.1	0.6	1.7	0.7
T. cosechado	236					

Fuente: adaptado de Hernández et al. (2009)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS GRUPOS CONEAT DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

El presente estudio fue realizado en suelos correspondientes a los grupos CONEAT 9.1, 9.2 y 9.6. Dichos grupos presentan características que determinan grandes condiciones para la producción forestal debido a su buena capacidad de enraizamiento para especies forestales. A continuación se presentará una breve descripción de estas unidades y sus características (CIDE, citado por URUGUAY. MAP, 1979).

3.1.1. Suelos del Grupo CONEAT 9.1

Se localiza en mayor extensión en los Dptos. De Paysandú y Río Negro, ocurriendo como paisajes escarpados a niveles altimétricos superiores del basalto (límite este) o en paisajes de disección, asociados a las principales vías de drenaje de la región sedimentaria del litoral oeste. De igual manera existe en el Dpto. de Soriano, aunque hacia el este ocurre a niveles superiores al basamento cristalino, con menor frecuencia en el Dpto. de Durazno (Cuchilla Grande del Durazno) y en el Dpto. de Flores. El material geológico está formado por areniscas litificadas, correspondientes mayormente a la formación Mercedes, aunque también este grupo está desarrollado sobre calizas silicificadas de Queguay y areniscas ferrificadas de Asencio y Guichón (escarpas).

Corresponden a paisajes de forma mesetiformes, con escarpas débilmente marcadas y otras muy marcadas, tomando en el primer caso la forma general de un paisaje ondulado y en el segundo el de verdaderas

mesetas, siendo las formas intermedias las de mayor frecuencia, las que podrían definirse como colinas tabulares.

Las pendientes son heterogéneas, existiendo un rango de 6 a 12% en las formas onduladas, más de 12% en los frentes de escarpas y nula o menor de 0,5% en la parte superior de las mismas. Existen normalmente laderas cóncavas con pendientes de 3 a 6% de sedimentos coluvionales cuya conjunción conforma valles estrechos. Cuando en las partes altas de este grupo se encuentran grupos 10 u 11 existen Brunosoles Éútricos y Subéútricos, Típicos o Lúvicos moderadamente profundos y pseudolíticos, de color pardo oscuro a negro, textura franco arcillo limosa, fertilidad alta a media moderadamente bien drenados (Praderas Pardas y Negras superficiales y Litosoles).

Asociados, existen Litosoles Éútricos y Subéútricos Melánicos. Cuando en posición suprayacente se asocian otros suelos del Grupo CONEAT 9, (mayormente el 9.3) el suelo es un Argisol Subéútrico o Dístrito Ócrico, a veces Melánico Típico (Praderas Arenosas), moderadamente profundo y pseudolítico, pardo grisáceo oscuro, de textura franco arenosa a franco arcillo arenosa, fertilidad media a algo baja, imperfectamente drenado (hidromórfico) y como suelos asociados existen Litosoles Subéútricos a Dístritos Melánicos u Ócricos. Estos suelos ocurren también en los frentes de escarpas, siempre con pedregosidad y rocosidad variable entre 5 y 25% del área.

En las laderas convexas, existentes debajo de las escarpas, los suelos son similares a los anteriores con una menor frecuencia de Litosoles. En los valles estrechos que conforman las laderas cóncavas, según su posición topográfica, existen Argisoles Subéútricos Melánicos Típicos y Abrúpticos (Praderas Arenosas hidromórficas), a veces pseudolíticos y Planosoles

Subéutricos Melánicos. El uso es pastoril y la vegetación es en general de pradera estival con baja densidad de malezas. En presencia de texturas finas se nota mayor abundancia de pasturas invernales. Este grupo es uno de los integrantes principales de las unidades Bacacué y Paso Palmar de la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.).

3.1.2. Suelos del Grupo CONEAT 9.2

Se localiza en el noroeste del Dpto. De Paysandú ocupando las posiciones altimétricas superiores en el paisaje o como posición intermedia. Es alta su frecuencia en la región de Parada Rivas y la Cuchilla de los Medanos. El material geológico corresponde a areniscas consolidadas con cementación férrica de la formación Guichón y areniscas consolidadas de la formación Mercedes.

Corresponde a lomas altas con laderas de marcada convexidad, de pendientes de 6 a 12%, a veces aplanadas en su parte superior, con pendientes de 1 a 2%. Los suelos predominantes son Brunosoles Éutricos o Subéutricos Típicos (Praderas Pardas) moderadamente profundos, a veces superficiales y a veces pseudolíticos, aunque siempre con cantos. Son de color pardo oscuro, textura franco arenosa a franco arcillo arenosa, fertilidad alta y media, bien a moderadamente bien drenados. Estos suelos ocurren en las laderas.

En las partes altas aplanadas existen Brunosoles Subéutricos Lúvicos (Praderas Pardas de color gris muy oscuro a negro, textura franco arcillo arenosa, fertilidad media, moderada a imperfectamente drenados (hidromórficos). Cuando este grupo se asocia al grupo CONEAT 9.1, los suelos dominantes corresponden a Argisoles Subéutricos Ócricos, a veces Melánicos Típicos (Praderas Pardas) moderadamente profundos y a veces pseudolíticos,

aunque siempre con cantos de textura franca gruesa, franco arenosa pesada, color pardo grisáceo muy oscuro, fertilidad media y con frecuencia, imperfectamente drenados. El uso en general es pastoril aunque en el oeste se encuentra frecuentemente bajo cultivo. Integra la unidad Chapicuy de la carta a escala 1:1.000.000. (D.S.F).

3.1.3. Suelos del Grupo CONEAT 9.6

Ocupa una gran extensión al noreste del Dpto. de Paysandú, ocurriendo en los alrededores de Chapicuy, Colonia Baltasar Brum, Tierras Coloradas y El Eucalipto. El material geológico corresponde a areniscas con cemento arcilloso de color pardo rojizo debido a la presencia de óxidos férricos.

El relieve es ondulado al oeste, con pendientes predominantes de 2 a 5%, y ondulado fuerte en el este con pendientes de 3 a 8%. El padrón de suelos dominantes en la región oeste del grupo es el siguiente: Los suelos corresponden a Brunosoles Subéutricos Típicos, a veces Lúvicos, de color pardo muy oscuro, textura franco arenosa pesada, fertilidad media, generalmente bien drenados aunque en las laderas bajas el drenaje es moderadamente bueno y a veces imperfecto. Generalmente existen cantos, aunque no en cantidad suficiente como para considerarlos pseudolíticos (Pradera Parda a Pardo Rojiza media).

Asociados existen Argisoles Subéutricos Ócricos Típicos (Praderas Pardas máximas), fase húmica de color pardo rojizo oscuro, textura franco arenosa, fertilidad media y baja y drenaje variable según la posición topográfica, desde bien drenados (ródicos) a imperfectamente drenados (hidromórficos). También existen cantos aunque no en los espesores que se exigen para la fase pseudolítica. En el este, regiones de la Cuchilla de los Médanos, Tierras

Coloradas y Cerro Chato, el padrón de suelos cambia, estando constituido por suelos de texturas más livianas y de menor fertilidad.

La asociación la constituyen Argisoles Subéutricos Ócricos Típicos similares a los anteriormente nombrados y Argisoles Dístritos Ócricos Abrúpticos, a veces Típicos, de color pardo rojizo oscuro, textura arenoso franca, fertilidad baja, generalmente bien drenados (Praderas Arenosas pardo rojizas). Asociados a estos suelos existen Planosoles Dístritos Ócricos. Al oeste predomina el uso agrícola pastoril con destacables áreas de citricultura y al este el uso es pastoril estival. Este grupo corresponde a la unidad Chapicuy de la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F).

3.2. UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

La zona de estudio se encuentra en el litoral oeste del país. La información de la estación meteorológica de la ciudad de Paysandú (Latitud 32°20.9 S Longitud 58°02.2 W Altitud 61.12 m) correspondiente al área de estudio, la temperatura media anual es de 17.9°C, la máxima media anual es de 23.8°C y la mínima media anual es de 12.2 °C, siendo las temperaturas absolutas mínima de -3°C para el mes de agosto y máxima de 42.4° C para el mes de Diciembre. El régimen de precipitaciones anuales es de 1218 mm, siendo los meses extremos junio con 70 mm y marzo con 147 mm (URUGUAY. MDN. DNM, 2012).

La descripción de los perfiles y datos analíticos de los suelos estudiados se presentan en los anexos al final del trabajo.

Los sitios evaluados fueron 5 rodales, propiedad de la empresa MONTES DEL PLATA y la especie estudiada fue *Eucalyptus dunnii* en todos los rodales, a

turno final, con edades entre los 10 y los 14 años, con una densidad de plantación inicial de 1336 plantas por hectárea. Todos los rodales mostraron diferencias en sus condiciones edáficas y topográficas.

Cuadro 14: Información de los rodales muestreados.

Predio	Grupo CONEAT	Ubicación	Superficie Plantada	Campaña	Edad
Cerro Chato	9.6	Pdú. Norte (Pueblo Gallinal)	146.15	1998	12
San Pedro	9.6	Pdú. Norte (Quebracho)	8.66	2000	10
Santo Domingo	9.1	Pdú. Norte (Quebracho)	60	1996	14
Santo Domingo	9.2	Pdú. Norte (Quebracho)	285.13	1997	13
San Carlos	10.2	Río Negro (Tres Bocas)	42.18	1999	11

Fuente: Montes del Plata¹

Para todos los sitios la metodología de preparación del suelo de los mismos fue la siguiente:

- Excéntrica
- Subsulado a 50cm de profundidad
- Afinado con excéntrica y disquera
- Aplicación de 80 g de MAP por planta

¹ Fuente: Montes del Plata. 2011. Inventario Forestal (sin publicar).

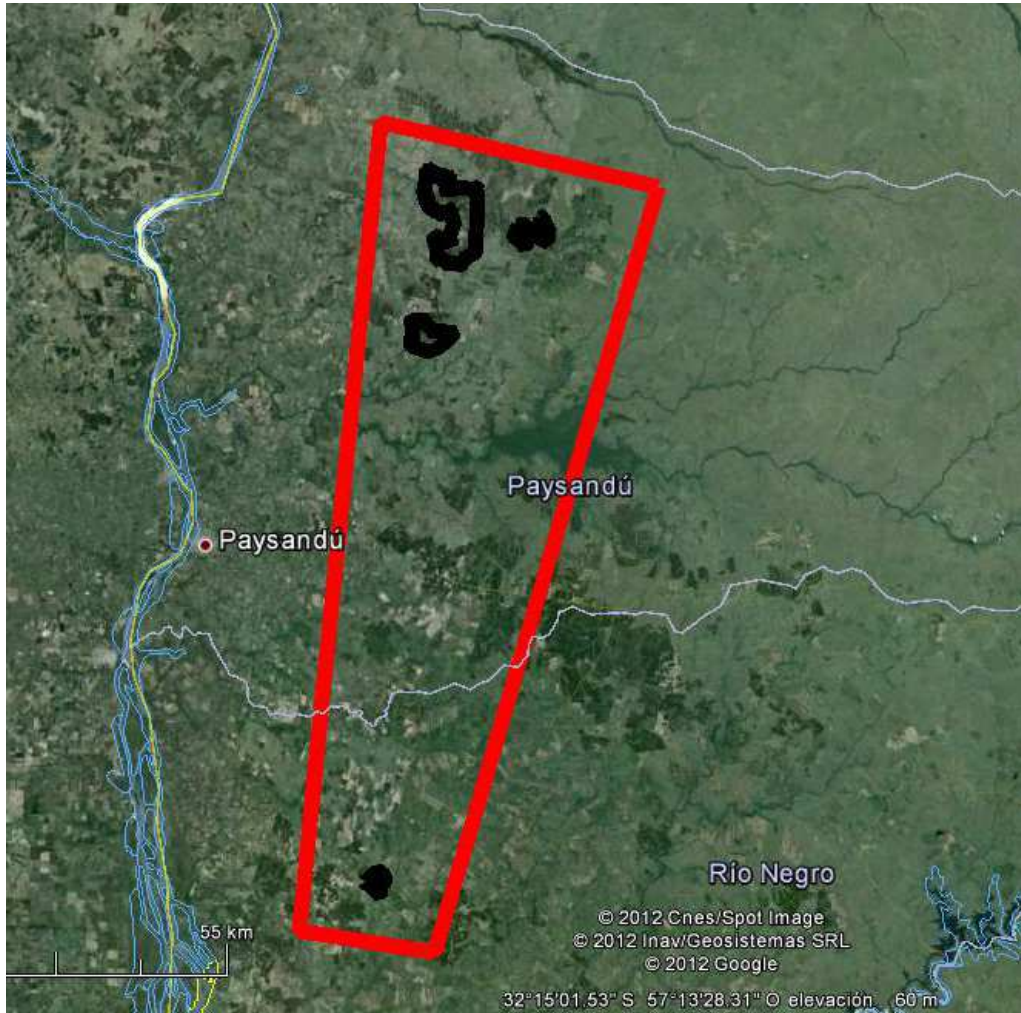


Figura 1: Localización de los sitios experimentales. Elaboración propia a través de Google Earth 6.2

3.3. MUESTREO

3.3.1. Selección de rodales para el estudio

La selección de rodales se hizo basándose en la especie forestal, los tipos de suelos, la edad de las plantaciones y a su vez también contamos con la información de inventarios forestales otorgada por la empresa Montes del Planta con datos del IMA y volumen por hectárea.

Selección de árboles y procedimiento de cosecha

La forma de selección de individuos consistió en:

1. Elección de una fila del rodal al azar.
2. Hacer mediciones del DAP a 20 árboles ubicados al menos 15 metros dentro del rodal (De forma de evitar el efecto Borde).
3. Elección y apeo de 10 árboles con un DAP similar al DAP promedio de los 20 individuos medidos, con un desvío standard de 2 cm. A su vez a cada uno de los individuos seleccionados se le hizo medición de altura una vez apeados.

Una vez cumplida esta etapa se procedió al desrame de fustes, y se cortaron en trozas de largo comercial (2.40 m) para luego pesarlas junto con la corteza. Toda sección menor a 5 cm de diámetro en su base no fue incluida en el estudio, por el hecho de no considerarse troza de importancia comercial. Posteriormente se cortó un disco de 4 cm de espesor en la parte inferior de cada una de las divisiones del fuste.

Una vez terminada esta fase se pasó a identificar los discos con marcador indeleble y con etiquetas, indicando el nombre del sitio, número de árbol y de disco, para después embolsarlos individualmente.

Posteriormente se tomaron muestras de rama gruesa > 1 mm, rama fina < 1 mm, y hojas por cada árbol a las cuales se las embolsaba y se identificaba.

En cada sitio se realizó una calicata para describir morfológicamente el suelo y tomar muestras por horizonte para análisis posterior de parámetros químicos.

3.4. PROCESAMIENTO DE MUESTRAS DE PLANTA

3.4.1. Pesado y secado

Una vez en el laboratorio se realizó el descortezado de los discos, pesando corteza y madera por separado en fresco. También se pesaron las muestras de hojas, rama gruesa y rama fina para después secar todos los materiales en estufa a 65 °C, hasta peso constante, registrando su peso seco, de manera de saber el contenido de humedad de las muestras en campo. El dato de peso de la corteza se utilizó para calcular la proporción de madera en el disco y este valor se usó para el cálculo de la masa de madera (base seca) de cada troza.

3.4.2. Preparación de muestras para análisis

Una vez secos los discos, se procedió a extraer viruta, tallando con formón, las cuales fueron luego procesadas en un molino de cuchillas, con el objetivo de generar partículas de tamaño homogéneo para realizar los análisis Químicos. También se molieron las muestras de rama, ramilla, hoja y corteza para determinar el contenido de nutrientes en todos los componentes de cosecha.

3.4.3 Determinación de bases por digestión seca

De cada muestra molida se pesaron 2 g para madera y 1 g para el resto de las muestras (hojas, ramas, ramillas y corteza) con una precisión a la milésima de gramo, de forma de realizar su mineralización por calcinación en mufla durante 5 horas a 500°C. La ceniza obtenida se solubilizó con HCl al 20% a temperatura ambiente. La determinación de Ca y Mg en los extractos se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, en tanto que para K se realizó mediante espectrometría de emisión. Las determinaciones de P en dicho extracto se realizaron mediante el método colorimétrico (Murphy y Riley, 1962).

3.4.4 Determinación de nitrógeno total

Para la determinación del N total se realizó mediante digestión por vía húmeda con H_2SO_4 y mezcla de catalizadores ($CuSO_4$ y K_2SO_4) a $360^\circ C$ durante 1 hora 50', luego de lo cual se realizó la destilación del N mineral por Kjeldahl, titulando el destilado con HCl 0.1 M, calculando posteriormente el porcentaje del nitrógeno presente en la muestra.

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO

Previo al análisis químico de las muestras de suelos de las parcelas de estudio, las mismas fueron secadas en estufa a $45^\circ C$ previo desmenuzando y posterior molienda en molino y tamizado a 2 mm.

Los análisis químicos realizados fueron los siguientes:

- Cationes de intercambio: fueron extractados con una solución de acetato de amonio 1 M a pH 7, con una relación suelo: solución de 1:10. Luego de la agitación (30 minutos) y filtrado, realizándose la lectura de Ca y Mg en el extracto por espectrofotometría de absorción atómica, y de K y Na por espectrometría de emisión.
- pH: se realizó mediante una dilución del suelo con agua y con KCl 1M en una relación 1:2.5. La medición se realizó por el método potenciométrico, mediante electrodo de actividad específica de hidrógeno.
- Acidez intercambiable: se realizó una extracción con KCl 1M, y posterior determinación mediante titulación con $NaOH$ 0.1 M.
- Materia orgánica: se realizó por el método de Walkley-Black, mediante oxidación de la muestra con una mezcla de dicromato de potasio 1 N y ácido sulfúrico concentrado. Luego se realizó la lectura por colorimetría en espectrofotómetro a una longitud de onda de 600 nm.
- Fósforo: Se utilizó el Método Bray 1 (Bray y Kurtz, 1945) con una relación suelo: solución de 1:7.

3.6 CÁLCULOS

Dado que en el campo no se realizó la separación y pesado de los diferentes componentes de cosecha de los árboles, de manera de calcular las fracciones de biomasa, dichos valores fueron calculados tomando como base datos obtenidos en otros trabajos de Gonzalez (2008). Dicho autor encontró una proporción madera/corteza en trozas similar a la de nuestro trabajo, donde la madera representa un 72% y la corteza un 12%. Posteriormente se calculó la biomasa de cada componente (hojas, ramas finas y ramas gruesas) para cada árbol en todos los sitios.

La biomasa por árbol se calculó como la suma del peso seco de las trozas y los demás componentes. El peso seco de cada troza se calculó como peso en fresco de la troza sin corteza por el promedio del % de MS del disco basal y medio.

La biomasa comercial por hectárea, se calculó con el peso promedio del árbol por sitio en base seca y se lo multiplicó por la densidad de árboles al momento de la cosecha. El contenido de nutrientes por árbol se calculó para dos tramos del fuste: uno basal y otro ubicado en el medio (troza 4). El contenido de nutrientes de cada árbol se calculó multiplicando el promedio de ambos porcentajes de nutrientes de los discos por la suma de biomasa seca de las trozas.

Se calculó el Coeficiente de Utilización Biológica (CUB) y Eficiencia de Utilización (EUN) de nutrientes, en ambos casos como el inverso del porcentaje de nutrientes en el árbol, o sea, en el caso de EUN sería cuántos kg de biomasa seca se producen por Kg de nutriente exportado y en el caso de CUB sería cuántos Kg de madera seca se producen (trozas comerciales) por kg de nutriente presente en las trozas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN TROZAS COMERCIALES

En el Cuadro 15 se presentan los principales datos y parámetros dasométricos de los cinco sitios evaluados. Dado que los sitios de muestreo variaban algo en densidad al momento de cosecha y considerablemente en edad, se procedió a realizar el análisis de los resultados en función de estas dos variables de manera de tener un indicador común entre los sitios que pudiera ser comparable para todas las localidades. Al observar la producción de biomasa anual por individuo se vieron diferencias significativas entre sitios ($F=18.43$; $P<0.0001$), pudiéndose comprobar en el análisis de varianza que un 63.54% de la variación se debió a la diferencia entre sitios, en tanto que el 36.46 restante se debió a variaciones entre árboles dentro del mismo sitio.

Cuadro 15: Producción promedio de biomasa por árbol por año de *E. dunnii*, biomasa por hectárea por sitio y variables dasométricas asociadas al rodal (valores promedio, desvío estándar y coeficiente de variación por grupo CONEAT).

Sitio	Grupo Coneat	Edad	Plantas ha ⁻¹	DAP	Altura Real	Altura Comercial	Biomasa	
				cm	m	m	kg árbol ⁻¹ año ⁻¹	Mg ha ⁻¹ año ⁻¹
Sto. Dom 9.1	9.1	14	928	20.02	29.48	25.15	20.71	19.22
Sto. Dom 9.2	9.2	14	935	19.09	28.51	25.68	15.83	14.8
San Pedro	9.6	10	921	17,05	22,74	18,13	14,12	13,00
Cerro Chato	9.6	12	914	20,84	28,91	26,64	21,70	19,84
San Carlos	10.2	11	912	20,04	23,02	21,60	17,79	16,22
PROMEDIO				19,41	26,53	23,44	18,03	16,62
STD				0,43	2,09	1,64	2,23	
CV (%)				2,24	7,84	7,33	12,47	

Tomando en cuenta los datos de altura y producción de biomasa con respecto a la edad (Cuadro 15), se puede estimar que los suelos del grupo CONEAT 9.6 del sitio Cerro Chato serían los que mejores condiciones de crecimiento le ofrecen al *Eucalyptus dunnii*. En comparación con otras especies en la región del litoral oeste, en todos los sitios muestreados fueron encontrados valores inferiores de producción de biomasa anual por árbol en comparación con los registrados para *Eucalyptus maidennii* de 10 años de edad (González, 2008), aun teniendo menores valores de densidad de árboles por hectárea para *Eucalyptus dunnii*. Con respecto a *Eucalyptus globulus*, también de 10 años de edad, dicho autor encontró valores inferiores a los del presente trabajo para todos los sitios salvo para San Pedro donde prácticamente no habría diferencias. Cabe destacar que con respecto a esta publicación habría que tomar cierto recaudo en las comparaciones dado que para ser realmente validas deberían haber más plantaciones evaluadas en diferentes sitios tanto para *Eucalyptus maidennii* como para *Eucalyptus globulus*, ya que las plantaciones estudiadas pueden representar o no el promedio de la especie en el litoral.

Con respecto a *Eucalyptus grandis* (Giosa, 2009), también de la misma zona con edades entre 10 y 12 años, las producciones de biomasa de los sitios evaluados fueron en promedio superiores, aunque los valores de dicho autor se encuentran dentro del rango del *Eucalyptus dunnii* del presente trabajo. En dicha publicación podría decirse que es mucho más representativo que el dato dado en el trabajo de Gonzalez (2008), ya que se trata de mayor cantidad de sitios con suelos distintos. Con respecto a esta especie se encontraron niveles inferiores de biomasa anual por individuo en comparación a Hernández (2009), cuyos valores son de 21.85 kg/árbol/año con una densidad de 1200 árboles por hectárea de 9 años.

En las Figuras 2 y 3 se indican las relaciones entre la biomasa por árbol y por año y las variables DAP y Altura, respectivamente.

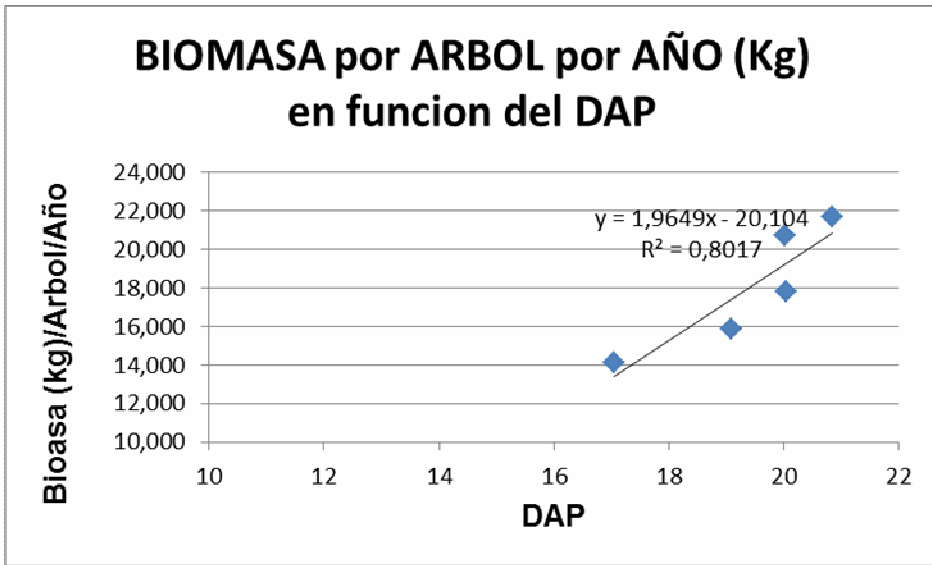


Figura 2: Relación entre la producción promedio anual de biomasa por árbol de E.dunnii y el DAP para los sitios evaluados.

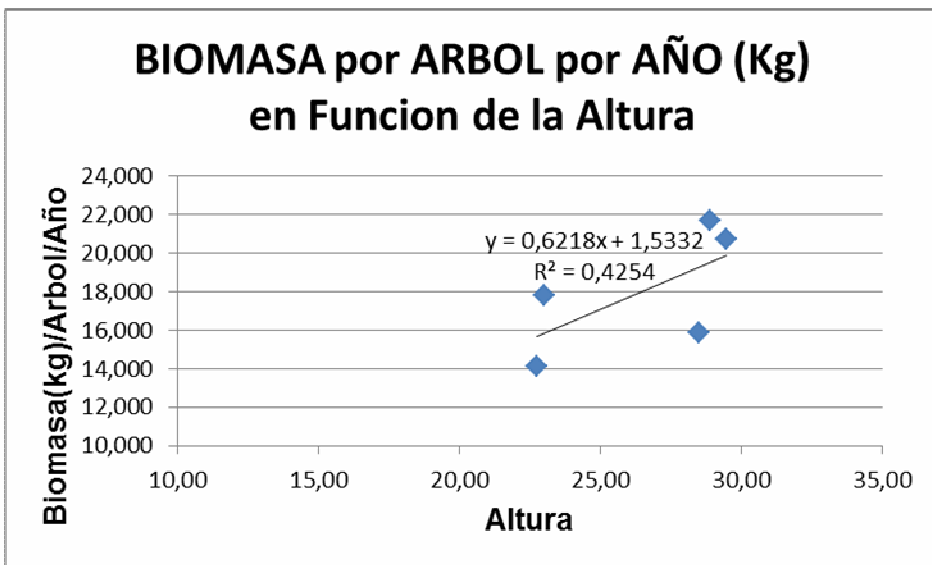


Figura 3: Relación entre la producción promedio anual de biomasa por árbol de E. dunnii y la altura para los sitios evaluados.

Para ambos casos, las variables mostraron una correlación positiva aunque solo en función al DAP podría decirse que es significativa mientras que con la altura no (DAP: $r^2 = 0.8017$, $y = 1.9649x - 20.104$; Altura: $r^2 = 0.4254$, $y = 0.6218x + 1,5332$).

En los cuadros 16 y 17 se presentan los datos promedio de producción de concentración, extracción de nutrientes y producción de biomasa de cada componente cosechado por árbol y por año, usando los 50 árboles evaluados de los cinco sitios muestreados.

Cuadro 16: Concentración de nutrientes (Media, Desvío Estándar y Coeficiente de Variación) por fracción de biomasa para los cinco sitios evaluados.

COMPONENTE		N %	% P	% Ca	% Mg	% K
HOJAS	Media	1,69	0,137	1,43	0,20	0,74
	D.St	0,22	0,06	0,61	0,07	0,34
	CV (%)	13,34	43,25	42,75	34,80	45,25
RAMAS FINAS	Media	0,47	0,030	1,26	0,14	0,43
	D.St	0,12	0,02	0,41	0,05	0,17
	CV (%)	25,55	75,50	32,49	39,68	40,09
RAMAS GRUESAS	Media	0,27	0,016	0,87	0,12	0,21
	D.St	0,06	0,01	0,28	0,04	0,12
	CV (%)	21,69	40,06	32,48	30,01	56,84
CORTEZA	Media	0,31	0,033	3,67	0,27	0,39
	D.St	0,05	0,02	1,33	0,11	0,19
	CV (%)	16,29	47,23	36,18	41,66	49,19
MADERA	Media	0,09	0,011	0,44	0,11	0,10
	D.St	0,02	0,01	0,20	0,04	0,05
	CV (%)	18,37	47,86	45,40	36,06	45,86

Como puede verse con el cuadro, los nutrientes varían en su concentración según la fracción de biomasa estimada, siendo las trozas comerciales el componente con las menores concentraciones. Las hojas

muestran los mayores contenidos para N (1.69 %), P (0.14 %) y K (0.74%), mientras que corteza presenta los mayores valores para Ca (3.67%) y Mg (0.27%). En cuanto a variabilidad de contenidos, el Mg es el nutriente que presenta los valores más similares entre los distintos componentes de los restos, así como el Ca es el de mayor heterogeneidad dentro del árbol con concentraciones que van desde un máximo de 3.67 % en la corteza hasta 0.44 % en trozas. Con respecto al N, este nutriente presenta valores no muy distintos para rama fina, rama gruesa y corteza, viéndose una disminución muy marcada en las trozas (0.085%) y un aumento notorio en las hojas (1.69 %). Para el fósforo, al igual que para el nitrógeno, hay una cierta homogeneidad para todos los componentes con excepción de las hojas y madera cuyos valores de concentración son de 0.14% y 0.01% respectivamente.

Cuadro 17: Producción de biomasa y extracción de nutrientes por árbol y por año en cada componente de cosecha de los 50 árboles evaluados, en los cinco sitios muestreados (Media, Desvío Estándar y Coeficiente de Variación).

COMPONENTE		Kg BIOMASA por Árbol	Kg BIOMASA anual / Árbol	N anual / árbol (gr)	P anual / árbol (gr)	Ca anual / árbol (gr)	Mg anual / árbol (gr)	Mg anual / árbol (gr)
HOJAS	Media	8,87	0,72	12,10	0,98	10,11	1,39	5,45
	D.St	2,35	0,15	3,02	0,44	4,52	0,53	2,90
	CV (%)	26	20	25	45	45	38	53
RAMAS FINAS	Media	6,650	0,541	2,51	0,16	6,86	0,74	2,36
	D.St	1,76	0,11	0,80	0,14	2,76	0,30	1,20
	CV (%)	26	20	32	84	40	41	51
RAMAS GRUESAS	Media	19,950	1,622	4,35	0,27	14,09	1,90	3,60
	D.St	5,28	0,33	1,16	0,14	5,57	0,57	2,41
	CV (%)	26	20	27	52	40	30	67
CORTEZA	Media	26,60	2,16	6,58	0,68	76,37	5,58	8,46
	D.St	7,04	0,44	1,44	0,26	22,36	1,92	4,87
	CV (%)	26	20	22	39	29	34	58

MADERA	Media	159,61	12,98	11,32	1,35	55,89	14,02	12,81
	D.St	42,22	2,64	2,56	0,63	27,29	5,24	5,38
	CV (%)	26	20	23	47	49	37	42
TOTAL (media)		221,675	18,021	36,867	3,4373	163,32 1	23,626	32,681

Como se observa, el total de biomasa producida por árbol cada año fue en promedio de 18.02 kg, de los cuales el 72 % (12.98 kg árbol⁻¹) corresponden a lo exportado como producción comercial, mientras que el restante 28 % (5.05 kg árbol⁻¹) lo conforman los restos de la cosecha dejados en el sitio (corteza, ramas finas, ramas gruesas y hojas).

Al observar las sumas totales de nutrientes extraídas por los árboles se ven altos valores tales como el Ca, que presenta los mayores niveles de extracción (163 gramos árbol/año), lo que equivaldría a 1.63 Mg/ha⁻¹ en una típica rotación de 1000 árboles/Ha de 10 años de edad. Cabe decir que de estos 0.163 kg Ca/árbol/año, solamente 0.056 kg son exportados por las trozas llevándose un 34.2% del total del nutriente absorbido, quedando el resto en los distintos compartimentos residuales, mayormente en corteza (47%). El Mg es el nutriente que más se exporta con las trozas llevándose un 59% del total, dejando el remanente en el suelo con los residuos. El P a pesar de tener los menores niveles de concentración en la madera (0.011%), es el que se exporta en mayor proporción por las trozas después del Mg, representando un 39.58%, seguidos por el K (39.14%), Ca (34.2 %) y N (30,5%). Por lo tanto a no ser por el Mg, todos los demás nutrientes tienen un índice de exportación menor al 40%. Considerando los datos de los 5 sitios evaluados, con una densidad de 1000 pl/Ha se hizo el siguiente cuadro con las tasas anuales de extracción y exportación.

Cuadro 18: Tasa anual de extracción y exportación por Ha.

	Extracción/ Ha / Año (Kg/Ha/Año)	Exportación / Ha / Año (Kg/ Ha / Año)	% de Exportación (%)
N	37.12	11.33	30,52
P	3.84	1.52	39,58
Ca	163.32	55.89	34,22
Mg	23.55	13.9	59,02
K	32.68	12.79	39,14

Al comparar con otras especies a nivel nacional, como *E.globulus* en González (2008), podemos ver diferencias en el índice de exportación de los distintos nutrientes, tales como el Ca que a diferencia del *E.dunnii*, el índice de exportación representa un 18,2% del total extraído, seguido por el K (19%), N (32%), Mg (33%) y P (45%). Por otro lado, comparando con *E.maidenni*, González (2008), se vieron diferencias en los índices de exportación de nutrientes con respecto al *E.dunnii* del presente trabajo, hallando para K un 15% del total absorbido, seguido del Calcio con 17%, N con 24%, Mg con 26% y P con 43%.

Cabe destacar que en dicha publicación, el autor encontró en ambas especies al P como el nutriente de mayor índice de exportación, mientras que para *E.dunnii* en este trabajo fue el Mg.

En la Figura 4 se indica –en base a los resultados obtenidos- el reciclaje potencial de los diferentes nutrientes, es decir, qué proporción de cada nutriente permanece en los restos de cosecha y puede potencialmente retornar al suelo luego de la descomposición de los mismos.

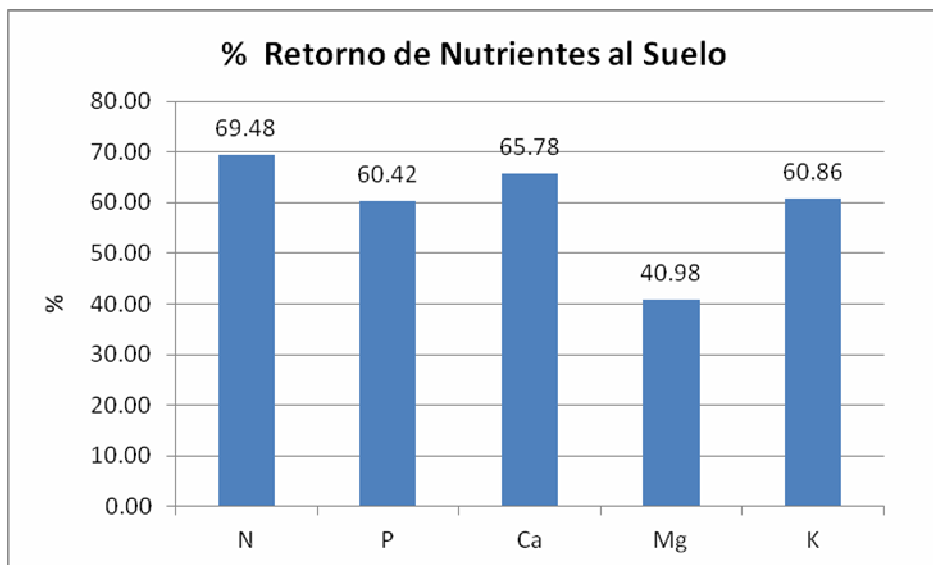


Figura 4: Reciclaje potencial de los distintos nutrientes.

4.2. DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES A LO LARGO DEL FUSTE

Se estudió la distribución de los nutrientes en el fuste, mediante el análisis de la concentración en la porción basal y media (1er y 4to disco de las correspondientes trozas) del fuste de los árboles cosechados en cada sitio. En las Figuras 5 a 9 se presentan los valores promedio de concentración de N, P, K, Ca y Mg en los discos Nro. 1 y 4.

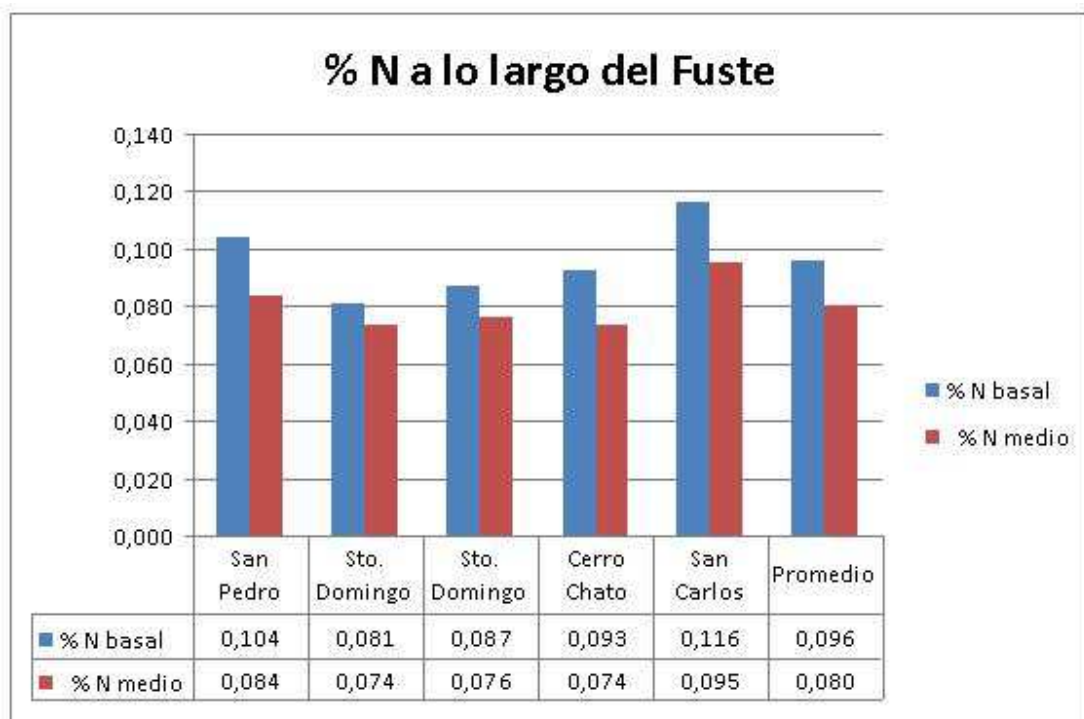


Figura 5: Porcentaje de Nitrógeno en el disco basal y el disco N° 4 (7.20 m de altura en el árbol) para los cinco sitios evaluados.

Con respecto a la distribución de N a lo largo del fuste, se observó una mayor concentración en la base con respecto a la zona media del fuste, lo cual resultó similar a lo encontrado por Giosa (2009) para *Eucalyptus grandis* y por Varela (2009) para *Eucalyptus globulus*. Por su lado González (2008) para

Eucalyptus globulus también encontró un decrecimiento hacia la zona media del fuste, mientras que para *Eucalyptus maidenii* se constató una distribución homogénea en N. En cuanto a los valores de concentración de N en el fuste, se encontraron niveles superiores a los encontrados en *Eucalyptus globulus* en suelos de basamento cristalino por Varela (2009), y en suelos del litoral (González, 2008). Con respecto a *Eucalyptus grandis* (Giosa, 2009), los niveles también fueron mayores aunque el margen no fue tan considerable como con *Eucalyptus globulus*. Hernández et al. (2009) encontraron valores promedio de 0.09% con un desvío estándar de 0.0012, lo cual muestra valores similares a los encontrados, con leves variaciones por sitio.

Con respecto al P la tendencia en tres de los cinco sitios evaluados fue de un leve aumento de la concentración hacia la cuarta troza. Por su lado Giosa (2009) encontró para *Eucalyptus grandis* una tendencia similar a la del presente trabajo así como Varela (2009) para *Eucalyptus globulus* y González (2008) para *Eucalyptus maidennii*, aunque a su vez dicho autor observó una tendencia más uniforme a lo largo del fuste para *Eucalyptus globulus*.

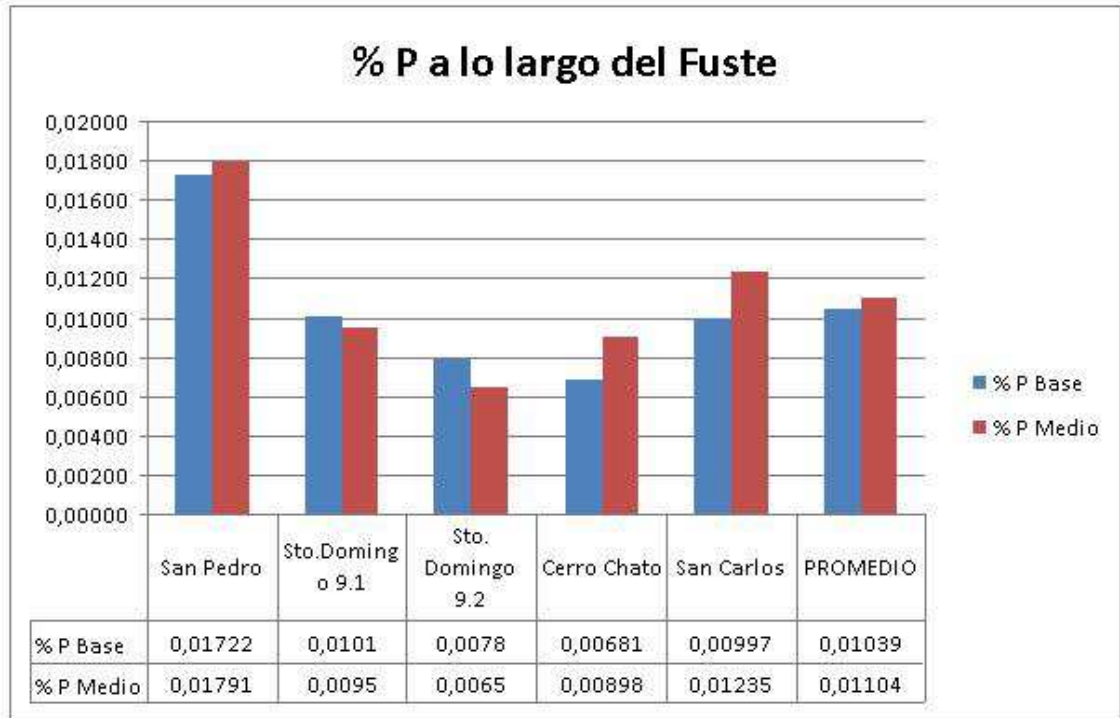


Figura 6: Porcentaje de Fósforo en el disco basal y el disco No. 4 (7.20 m de altura en el árbol) para los cinco sitios evaluados.

Al observar los valores de concentración, para *Eucalyptus dunnii* se encontraron niveles mayores que los vistos por los autores citados anteriormente, pero en promedio pertenecen al mismo rango que los publicados en Hernández et al. (2009) sobre la misma especie

Al analizar el comportamiento de K, en cuatro de los cinco sitios se encontró una tendencia creciente hacia el disco medio del fuste, al igual que en *Eucalyptus globulus* (González 2008, Varela 2009) y en *Eucalyptus grandis* (Giosa, 2009). Al igual que para los demás nutrientes evaluados anteriormente, en *Eucalyptus dunnii*, las concentraciones de K encontradas fueron mayores que para *Eucalyptus grandis* (Giosa, 2009), *Eucalyptus madenni* (González, 2008) y *Eucalyptus globulus* (González 2008, Varela 2009).

Con respecto a Hernández et al. (2009) quienes investigaron la remoción de nutrientes en *Eucalyptus dunnii* en suelos de unidad Algorta del grupo CONEAT 9.3, vieron que los valores de K en madera fueron de 0,06% con un desvío estándar de 0.015, lo cual nos coincide con los valores de algunos sitios del presente trabajo, aunque para el caso de San Carlos y San Pedro, los valores son significativamente mayores, lo cual en el caso de San Pedro esta relacionado a un mayor contenido de K en el los dos horizontes más profundos del perfil edáfico.

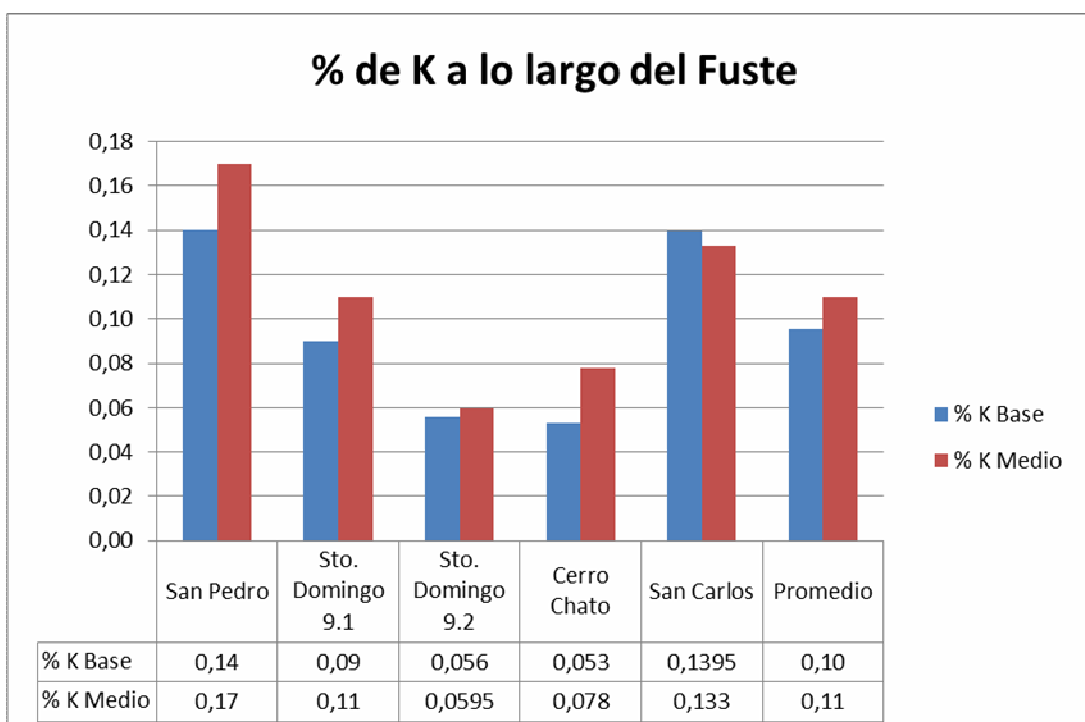


Figura 7: Porcentaje de Potasio en el disco basal y el disco No. 4 (7.20 m de altura en el árbol) para los cinco sitios evaluados.

En el caso del Ca, en todos los sitios evaluados se encontró una mayor concentración en la troza basal con respecto a la troza del medio, al igual que

en *Eucalyptus grandis* (Giosa, 2009). En cuanto al *Eucalyptus globulus* se encontró una tendencia inversa con distribuciones crecientes hacia la zona apical González (2008), Varela (2009). Al comparar con *Eucalyptus maidennii*, González (2008), encontró una distribución homogénea. En cuanto a las concentraciones de Ca del *Eucalyptus dunnii*, éstas fueron superiores a las encontradas en *Eucalyptus globulus* por González (2008) y en *Eucalyptus grandis* (Giosa, 2009). Hernández et al. (2009) encontraron también valores mayores de calcio en trozas comerciales (0.17%), aunque las diferencias no fueron tan acentuadas como con las otras especies.

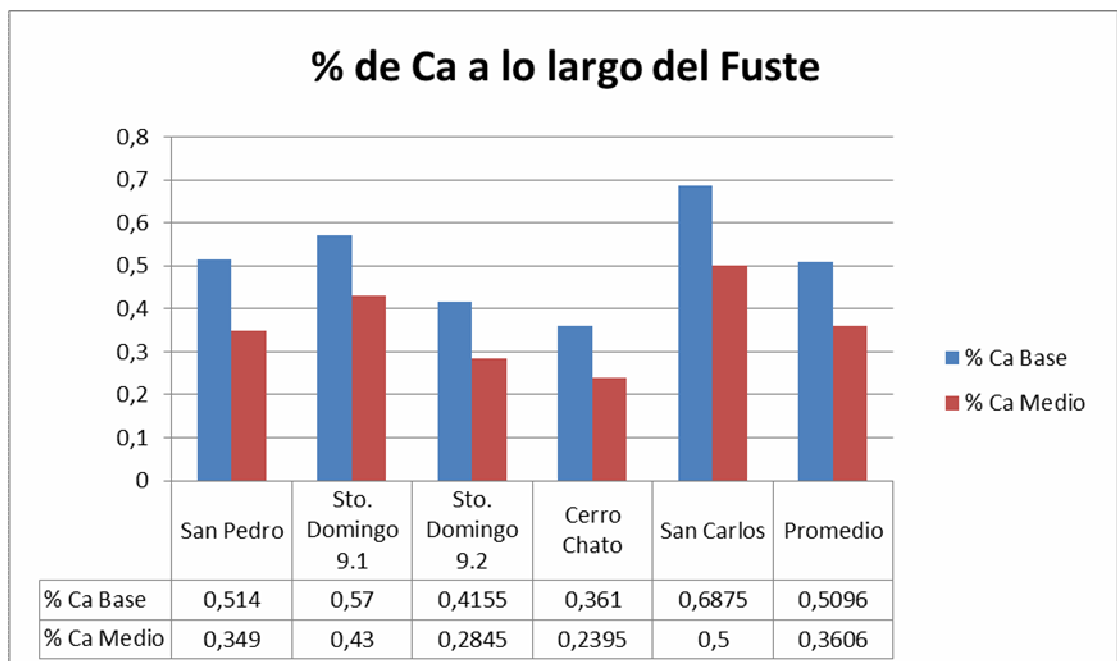


Figura 8: Porcentaje de Calcio en el disco basal y el disco No. 4 (7.20 m de altura en el árbol) para los cinco sitios evaluados.

Finalmente, en relación con Mg se observó en cuatro de los cinco sitios una mayor concentración en la troza basal al igual que en *Eucalyptus globulus* sobre suelos de basamento cristalino (Varela, 2009) y *Eucalyptus maidennii* (González, 2008). El único sitio que presentó una tendencia inversa fue San

Carlos en Tres Bocas sobre un suelo de uso agrícola del grupo CONEAT 10.2, muestreado en primavera, con un mayor contenido de bases que el resto de las localidades. Dicho comportamiento fue visto también en *Eucalyptus grandis* por Giosa (2009) y en *Eucalyptus globulus*, también sobre suelos del litoral oeste por González (2008). Con respecto a los valores de las concentraciones, al igual que en los demás nutrientes, los valores encontrados de Mg fueron superiores a los hallados en las demás especies (González 2008, Giosa 2009, Varela 2009), y están dentro del rango de *Eucalyptus dunnii* citado por Hernández et al. (2009).

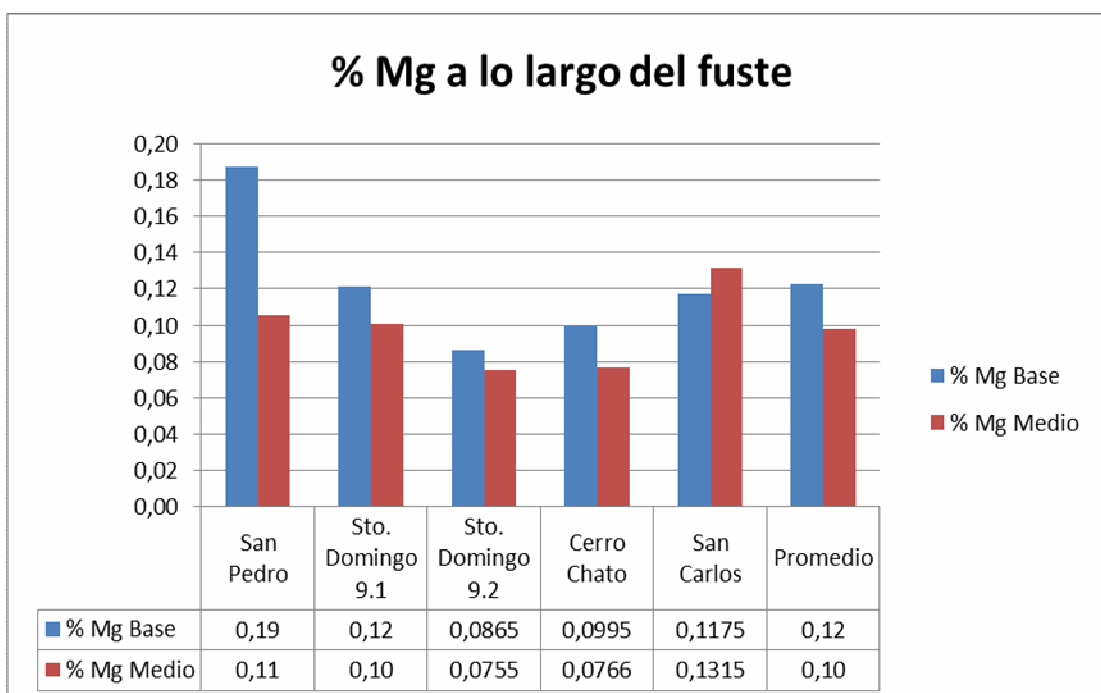


Figura 9: Porcentaje de Magnesio en el disco basal y el disco No. 4 (7.20 m de altura en el árbol) para los cinco sitios evaluados.

4.3. EXPORTACIÓN DE NUTRIENTES

En el cuadro 19 puede verse las los órdenes de exportación de nutrientes en los fustes por cada sitio.

Cuadro 19: Ordenes de Exportación de nutrientes por sitio.

SITIO	Grupo Coneat	Orden de Exportación
San Pedro	9.6	Ca>K>Mg>N>P
Santo Domingo 9.1	9.1	Ca>Mg>K>N>P
Santo Domingo 9.2	9.2	Ca>Mg>N>K>P
Cerro Chato	9.6	Ca>Mg>N>K>P
San Carlos	10.2	Ca>K>Mg>N>P

Podemos ver que los órdenes son variables, dependiendo del sitio, pero lo que se repite en todas las localidades es que el calcio y fósforo siempre ocupan el primer y último lugar respectivamente. Los órdenes encontrados en *Eucalyptus grandis* (Schumacher y Caldeira 2001, Freitas 2004, Giosa 2009), en *Eucalyptus globulus* y en *Eucalyptus maidenii* (González, 2008) y en *Eucalyptus globulus* (Varela, 2009) fue de Ca>N>K>Mg>P. Al compararlo con *Eucalyptus dunnii* el orden de extracción fue Ca>N>Mg>K>P Hernández et al. (2009).

A continuación en el Cuadro 20 se muestran los valores promedio, desvío standard y coeficiente de variación para la exportación anual de nutrientes por las trozas comerciales por árbol en cada sitio. En el cuadro 21 se presentan los valores de concentraciones de nutrientes en la madera para los 5 sitios estudiados.

Cuadro 20: Valores promedio, desvío estándar y coeficiente de variación para la exportación anual de nutrientes en trozas comerciales de *Eucalyptus dunnii* por sitio.

SITIO	BIOMASA de Madera (Kg) / árbol / año	BIOMASA de Madera (Kg) / árbol / año	Kg N en Madera / árbol / año	Kg P en Madera / árbol / año	Kg Ca en Madera/ árbol / año	Kg Mg en Madera/ árbol / año	Kg K en Madera/ árbol / año
San Pedro	101,64	10,16	0,0094	0,0018	0,0422	0,0146	0,0153
Desvío Estandar	20,00	2,00	0,002	0,001	0,012	0,004	0,004
CV (%)	20	20	18	38	29	30	26
Sto. Domingo 9.1	208,72	14,91	0,0115	0,0015	0,0756	0,0162	0,0146
Desvío Estandar	24,44	1,75	0,002	0,001	0,028	0,004	0,003
CV (%)	12	12	18	52	38	25	20
Sto. Domingo 9.2	159,60	11,40	0,0093	0,0008	0,0401	0,0095	0,0066
Desvio Estandar	8,74	0,62	0,0015	0,0004	0,0228	0,0026	0,0041
CV (%)	5,48	5,48	16	49	57	27	61
Cerro Chato	187,52	15,63	0,0129	0,0012	0,0460	0,0137	0,0104
Desvio Estandar	82,97	6,72	0,002	0,0004	0,015	0,007	0,004
CV (%)	44	43	17	30	33	53	37
San Carlos	140,56	12,78	0,0135	0,0014	0,0756	0,0160	0,0171
Desvio Estandar	61,88	6,48	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
CV (%)	44	12	17	32	40	28	27

Cuadro 21: Porcentaje promedio, desvío estándar y coeficiente de variación de la concentración de los nutrientes en trozas comerciales de los diferentes sitios.

SITIO	% N en Madera	% P en Madera	% Ca en Madera	% Mg en Madera	% K en Madera
San Pedro	0,0938	0,0176	0,4315	0,1460	0,1530
Desvío Estándar	0,01	0,0039	0,16	0,04	0,04
CV (%)	15	22	37	29	23
Sto. Domingo 9.1	0,0772	0,0098	0,5020	0,1090	0,0990
Desvío Estandar	0,01	0,0048	0,15	0,03	0,02
CV (%)	13	49	30	26	23
Sto. Domingo 9.2	0,0817	0,0071	0,3500	0,0830	0,0578
Desvío Estandar	0,01	0,0036	0,19	0,02	0,03
CV (%)	13	51	54	27	58
Cerro Chato	0,0833	0,0079	0,3003	0,0881	0,0655
Desvío Estandar	0,01	0,0019	0,11	0,04	0,0200
CV (%)	16	23	35	49	31
San Carlos	0,0871	0,0112	0,5937	0,1245	0,1334
Desvío Estandar	0,02	0,0034	0,24	0,03	0,03
CV (%)	19	30	40	21	23

Al comparar las concentraciones con otras especies en otros países vemos varias diferencias. Brañas et al. (2000) para *Eucalyptus globulus* en España encontraron valores de 0,044%, 0,005%, 0,082%, 0,008%, y 0,132% para N, P, Ca, Mg y K respectivamente. Freitas et al. (2004), quienes estudiaron *Eucalyptus grandis* en el municipio de Alegrete en Rio Grande del Sur (Brasil),

encontraron 0.082%, 0.021%, 0.150%, 0.11%, y 0,13% también para N, P, Ca, Mg y K respectivamente.

El análisis estadístico de los datos permitió encontrar diferencias significativas entre sitios en las cantidades de nutrientes por árbol y por año exportadas por las trozas comerciales.

Cuadro 22: Análisis de varianza para las tasa de exportación anual por árbol de *Eucalyptus dunnii* entre sitios.

Nutriente	F	p>F
N	9.45	<.0001
P	4.44	0.0042
Ca	6.28	0.0004
Mg	3.25	0.0201
K	11.6	<.0001

En cuanto a la exportación anual de nutrientes por árbol, para todos los sitios se encontraron valores mayores en relación a la especie *Eucalyptus grandis* Giosa (2009) para P, K, Mg y Ca salvo en algunos casos puntuales. Con respecto al N se encontraron valores similares salvo en los sitios Cerro Chato y San Carlos donde fueron superiores.

Con respecto al *Eucalyptus globulus* sobre basamento cristalino Varela (2009), la extracción de nutrientes fue mayor, ya sea por existir en el presente trabajo una mayor producción de biomasa del *Eucalyptus dunnii*, así como también valores de concentración de nutrientes más elevada que en el *Eucalyptus globulus*.

Comparando también con *Eucalyptus globulus* pero esta vez sobre suelos del litoral oeste con materiales geológicos más recientes, González (2008) también observó una menor tasa de exportación anual por árbol, aunque

las diferencias no fueron tan grandes como en los suelos del grupo CONEAT 2. Con respecto a *Eucalyptus maidennii* en suelos del Brasil, Schumacher et al. (2001), los niveles de exportación fueron superiores para todos los nutrientes en el presente trabajo. Para esta misma especie, a nivel nacional González (2008) encontró valores similares para P en los sitios muestreados en primavera (Sto. Domingo 9.2, Cerro Chato y San Carlos), pero menores para las localidades muestreadas en invierno. Con respecto al N, Ca, K y Mg, en todos los sitios los niveles fueron mayores en *Eucalyptus dunnii* a pesar de contar con una menor producción de biomasa anual que en *Eucalyptus maidennii*.

Con respecto a *Eucalyptus globulus* en España, Brañas et al. (2000) presentó datos que revelan una tasa anual por árbol de 0,00522 Kg N, 0,00066 Kg de P, 0,01524 Kg de K, 0,00827 Kg de Ca y 0,00108 Kg de Mg, lo cual indica que presentó menor extracción de N, P y Mg en trozas. Con respecto al K y Ca, los valores fueron mayoritariamente superiores que *Eucalyptus dunnii*.

En el *Eucalyptus regnans*, Frederick et al. (1985) evaluaron la acumulación de nutrientes de esta especie en la isla norte de Nueva Zelanda, donde encontró los siguientes resultados en base a edad y densidad.

Cuadro 23: Exportación de nutrientes en trozas comerciales en plantaciones de *Eucalyptus regnans* en Nueva Zelanda.

Frederick (E.regnans New Zeland)					
Edad	4	7	10	13	17
N (kg/ha)	41,5	113,1	236,1	156,1	208,7
N (kg/árbol/año)	0,0074	0,0103	0,0169	0,0096	0,0073
P (kg/ha)	6,6	15,8	32	18	36,2
P (kg/árbol/año)	0,0012	0,0014	0,0023	0,0011	0,0013
Ca (Kg/ha)	19,2	52,2	103,4	81,6	106,9
Ca (kg/árbol/año)	0,0034	0,0047	0,0074	0,0050	0,0037
Mg (kg/ha)	9,3	23,9	34	32,3	37,2
Mg (kg/árbol/año)	0,0017	0,0022	0,0024	0,0020	0,0013
K (Kg/ha)	66,1	173,9	277,4	241,5	214,8
K (kg/árbol/año)	0,0118	0,0158	0,0198	0,0149	0,0075
Densidad	1400	1575	1400	1250	1680

De acuerdo con este autor, las exportaciones anuales por árbol de N y P fueron mayores a *Eucalyptus dunnii*, similares a las de K, y menores a las de Ca y Mg. Cabe destacar que las condiciones ambientales son diferentes, tanto por el clima como por el suelo.

Los niveles anuales por árbol de exportación de P en *Eucalyptus dunnii* encontrados por Hernández et al. (2009) fueron mayores que en la mayoría de los sitios del presente trabajo, salvo en San Pedro donde presentó similares valores. Con respecto a N, Ca, Mg y K los valores fueron mayoritariamente inferiores en dicha publicación, dependiendo el sitio al cual se lo compare.

4.4. EFICIENCIA EN EL USO DE NUTRIENTES Y COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN BIOLÓGICA

En el Cuadro 24 se presenta la información de eficiencia de uso de los nutrientes para *Eucalyptus dunnii* en los cinco sitios evaluados.

Cuadro 24: Eficiencia en el uso de los nutrientes (EUN) para cinco plantaciones de *Eucalyptus dunnii*.

SITIO	EUN N por año (kg MS biomasa total / kg N absorbido)	EUN P por año (kg MS biomasa total / kg P absorbido)	EUN Ca por año (kg MS biomasa total / kg Ca absorbido)	EUN Mg por año (kg MS biomasa total / kg Mg absorbido)	EUN K por año (kg MS biomasa total / kg K absorbido)
San Pedro	478	3894	94	568	468
Santo Domingo 9.1	518	6236	113	858	560
Santo Domingo 9.2	469	5529	119	878	745
Cerro Chato	496	5954	140	966	590
San Carlos	475	5714	106	717	527

Los datos de EUN en el presente trabajo fueron menores para P, Ca, K y Mg y mayores para N comparados con los resultados obtenidos por Santana et al. (2000) en donde se hizo un estudio con distintas especies en diferentes regiones del Brasil. Sus datos mostraron valores de 389 (P), 5219 (P), 594 (K), 409 (Ca) y 1909 (Mg).

A nivel nacional, para *Eucalyptus globulus*, González (2008) presentó niveles de N, P y Mg mayores que los de *Eucalyptus dunnii*. En cuanto al calcio, su eficiencia fue mayor solamente en dos sitios (Cerro Chato y San Carlos) y con respecto al K, en esta publicación se presentaron mayores valores en todos los casos. Dicho autor también analizó el *Eucalyptus maidennii*, en donde se encontraron valores menores de EUN para N, K, Ca, mientras que para P y Mg los niveles fueron superiores a los encontrados en todos los sitios del presente trabajo.

Otro índice de evaluación de la eficiencia de uso de los nutrientes es estimando los kg de materia seca de trozas comerciales por kg de cada uno de los nutrientes existentes en esta madera, dicho indicador es el Coeficiente de Utilización Biológica (CUB). A continuación se presentan los valores del CUB para *Eucalyptus dunnii* en el presente trabajo.

Cuadro 25: Coeficiente de Utilización Biológica de nutrientes para los cinco rodales de *Eucalyptus dunnii*.

SITIO	CUB N por año (kg MS Madera / kg N absorbido en madera)	CUB P por año (kg MS Madera / kg P absorbido en madera)	CUB Ca por año (kg MS Madera / kg Ca absorbido en madera)	CUB Mg por año (kg MS Madera / kg Mg absorbido en madera)	CUB K por año (kg MS Madera / kg K absorbido en madera)
San Pedro	1090	5986	265	744	688
Santo Domingo 9.1	1314	12968	215	990	1057
Santo Domingo 9.2	1244	16637	385	1294	2307
Cerro Chato	1230	13373	383	1388	1665
San Carlos	967	9712	188	837	779

Dichos valores fueron menores a los encontrados para *Eucalyptus globulus* por Varela (2009) en suelos del Grupo CONEAT 2 y por González (2008) en suelos del Grupo CONEAT 9. En relación a *Eucalyptus saligna* de siete años de edad, en diferentes sitios de Brasil, Freitas Melo et al. (1995) encontró niveles de CUB mucho mayores para las bases aunque similares para P. Otro estudio en Brasil de Campos Santana et al. (2000) donde estudiaron distintas especies en diferentes sitios a lo largo de todo el país, revelaron promedios de 589, 7722, 822, 513 y 3095 para N, P, K, Ca y Mg respectivamente, aunque cabe destacar que en dicho estudio al contar con gran variedad de especies en distintas condiciones ambientales habría que tomar cierta precaución al compararlos con los datos del presente trabajo. Con

respecto a *Eucalyptus grandis* en Uruguay, Giosa (2009) encontró índices de eficiencia muy superiores con mayores diferencias que con *Eucalyptus globulus* de Varela (2009). En el siguiente cuadro se indica el orden que presenta el CUB para los diferentes nutrientes.

Cuadro 26: Coeficiente de Utilización Biológica de los Nutrientes en la producción de Biomasa Comercial.

SITIO	ORDEN de CUB
San Pedro	P>N>Mg>k>Ca
Sto. Domingo 9.1	P>N>Mg>K>Ca
Sto. Domingo 9.2	P>N>K>Mg>Ca
Cerro Chato	P>N>K>Mg>Ca
San Carlos	P>N>K>Mg>Ca

Al analizar el orden de Coeficiente de Utilización Biológica se vieron diferencias con *Eucalyptus grandis* (Giosa, 2009) y *Eucalyptus globulus* (González 2008, Varela 2009) quienes encontraron el orden P>Mg>K>N>Ca. En Hernández et al. (2009) al investigar el *Eucalyptus dunnii*, el orden fue P>K>Mg>N>Ca. En el presente trabajo el N fue el segundo nutriente más eficiente en todos los sitios evaluados, y el Mg y K variaban según el rodal.

Cuadro 27: Análisis de varianza para las diferencias en el CUB de los diferentes nutrientes entre sitios de *E. dunnii*.

NUTRIENTE	F	P > F
N	6.59	0.0003
P	7.74	<.0001
Ca	4.18	0.0059
Mg	5.31	0.0014
K	12.70	<.0001

Se encontraron diferencias significativas para N, P, Ca, Mg y K entre sitios con valores de probabilidades menores a 0.05.

4.5. PROPIEDADES DE SUELO DE LOS SITIOS EVALUADOS Y SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO DE NUTRIENTES EN LA BIOMASA AÉREA

Los sitios muestreados se caracterizaron por poseer suelos de profundidad variable desde 62 cm a 110 cm los más profundos (ver Anexo) y pudo verse que en los sitios de mayor profundidad (Santo Domingo 9.1 y Cerro Chato) se dieron los mayores rendimientos y alturas así como también el sitio de peor rendimiento y altura fue el de menor profundidad de arraigamiento (San Pedro). La textura del horizonte A de todos los sitios fue mayoritariamente Franco Arenosa, salvo en San Carlos (10.2) que poseía mayor porcentaje de limo y arcilla (Franco Arcillo Limoso).

Para los cationes intercambiables se pueden apreciar ciertas diferencias entre grupos CONEAT. Las plantaciones sobre el Grupo 10.2, presentan los mayores niveles de cationes, aunque esto no coincide con los mejores crecimientos, pero si con las mayores concentraciones, por lo cual vemos que su CUB es el menor de los 5 sitios, dado que tiene poca eficiencia de uso de nutrientes.

Se realizó un estudio de correlaciones entre las concentraciones de Ca, Mg y K ponderadas en los perfiles de suelo (horizontes A y B), y el porcentaje de estos nutrientes en la madera, las cantidades absolutas exportadas en ella por árbol y por año, y el CUB correspondiente. Los resultados del mismo se indican en el Cuadro 28.

Cuadro 28: Coeficientes de determinación de las regresiones entre las concentraciones de Ca, Mg y K ponderadas en los perfiles de suelo (horizontes A y B), y el porcentaje de estos nutrientes en la madera, las cantidades absolutas exportadas en ella por árbol y por concentración.

Variable Y	Ca	Mg	K
	cmol_c kg⁻¹ ponderados*		
% nutriente	0.72	0.33	0.07
g nutriente árbol⁻¹ año⁻¹	0.44	0.48	0.01
CUB	0.80*	0.58	0.01

*cmol_c catión kg⁻¹ suelo ponderados en la profundidad de los horizontes A+B*Significativo P<0.05

Los valores entre las concentraciones de Ca, Mg y K ponderadas en los perfiles de suelo y el porcentaje de estos nutrientes en la madera, así como las cantidades absolutas exportadas en ella por árbol y por año dieron tendencias positivas, aunque dichos valores no llegaron a ser significativos. La tendencia más clara fue entre la concentración de Ca en el suelo y el %Ca en madera (P< 0.06). En cuanto a las relaciones entre las concentraciones de estas bases en el suelo y el CUB, las relaciones fueron negativas, resultando sólo significativa la relación entre concentración ponderada de Ca en el suelo y el CUB-Ca (P< 0.04). Las relaciones entre las concentraciones de K en suelo y las variables estudiadas no mostraron estar relacionadas. Es probable que los árboles lograran acumular durante su ciclo una cantidad de K elevada (consumo de lujo), que no terminó de guardar relación con los niveles en el suelo.

Con respecto al sitio Cerro Chato, que tiene la mayor producción anual de biomasa por árbol, no habría relación entre esta mayor producción con una mayor extracción de bases catiónicas, lo cual se confirma al ser uno de los sitios que presentaron mayores niveles de CUB, por lo cual podría explicarse por mejores condiciones para el arraigamiento en profundidad, de donde tomar nutrientes

5. CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias significativas en la producción de biomasa anual por árbol entre los sitios evaluados (64% de la variación encontrada). Dichas diferencias estuvieron relacionadas con los diferentes grupos CONEAT de suelos, donde el suelo del Grupo CONEAT 9.6 mostró el mayor valor de rendimiento. Sin embargo, aun dentro de un mismo grupo CONEAT de suelos, se encontraron diferencias en la producción de biomasa. Este aspecto es importante destacarlo, debido a que dentro de un mismo grupo CONEAT, si bien hay similitud en los suelos desde el punto de vista de sus características morfológicas, físicas y químicas, es posible encontrar diferencias entre ellos que pueden determinar productividades diferentes. Este aspecto debe ser tenido en cuenta en la selección de sitios para las plantaciones y en las estimaciones de la productividad esperable en cada uno de ellos de acuerdo a una carta más detallada de suelos que la cartografía CONEAT.

Comparando los rendimientos de *E. dunnii* de estos sitios con los correspondientes a *E. grandis* sobre suelos del litoral desarrollados sobre areniscas cretácicas, surge la tendencia a mostrar un mayor rendimiento de biomasa por árbol y por año para *E. dunnii*.

Las concentraciones de nutrientes en la biomasa de las trozas fue más baja que la de otros componentes de cosecha, y siguió el orden $Ca > Mg > K > N > P$. Las concentraciones de Ca fueron elevadas (4 veces las correspondientes a Mg), y corresponden a las trozas descortezadas. Sin embargo, la mayor parte del Ca absorbido por los árboles se encuentra en la corteza, la cual permanece en el sitio. De aquí la importancia de realizar el descortezado en el sitio, a fin de evitar la exportación de nutrientes como el Ca.

La concentración de N en la biomasa comercial fue superior a la encontrada en otras especies de *Eucalyptus*, y similar a otros trabajos realizados en la especie a nivel nacional. En términos generales, las concentraciones de Ca, Mg, P y K presentaron valores superiores en relación a otras especies del género *Eucalyptus* en suelos del litoral oeste.

El Calcio se encontró mayoritariamente en la troza basal a diferencia del N, P, K y Mg, que cambiaban según sitio y podría existir una cierta influencia de la época del año cosechada, aunque no es algo confirmado.

Las cantidades de nutrientes extraídas por hectárea fueron directamente proporcionales a la producción de biomasa.

El Coeficiente de Utilización Biológica presentó diferencias significativas entre sitios, encontrándose un orden de magnitudes de $P > N > K$, $Mg > Ca$, lo cual indica ciertas diferencias con lo encontrado en otros países. Los suelos de nuestro país son pobres en P, lo que arroja valores elevados en el CUB. Lo contrario ocurre con el Ca.

Se encontraron algunas tendencias hacia mayores porcentajes de Ca y Mg en la madera y cantidades exportadas en ellas, en función de las concentraciones ponderadas de dichos nutrientes en los horizontes A y B de los suelos. Sólo fue encontrada una correlación significativa entre el nivel de Ca en el suelo y el CUB para dicho nutriente.

6. RESUMEN

En Uruguay las plantaciones de *Eucalyptus dunnii* están en franca expansión, en virtud de su adaptación a suelos y clima, producción y calidad de la madera para pulpa de celulosa. Sin embargo, la información acerca de la extracción de nutrientes del suelo es escasa. Los objetivos del presente trabajo fueron: a) cuantificar la exportación de nutrientes en las trozas comerciales de *Eucalyptus dunnii* en suelos desarrollados a partir de areniscas del litoral oeste; b) relacionar la magnitud de la extracción de nutrientes con algunas de las propiedades químicas del suelo. Se seleccionaron 5 plantaciones comerciales de *E. dunnii* en edad de cosecha (promedio 12 años), apeándose 10 ejemplares con medias promedio (DAP y Altura). Se pesó el fuste para la cuantificación de biomasa comercial y se tomaron muestras de madera, corteza, ramas y hojas para posterior análisis químico del contenido en N, P, K, Ca y Mg. Se encontraron diferencias en la producción promedio por árbol y por año, así como en las concentraciones y cantidades de nutrientes absorbidas. La especie mostró concentraciones de Ca, Mg, P y K superiores a otras especies del género *Eucalyptus* también en suelos del litoral oeste. El Ca fue el nutriente mayoritariamente exportado en cantidades absolutas, aunque el descortezado en el sitio previno de mayores exportaciones del nutriente, dada su alta concentración en corteza. La producción de madera por unidad de nutriente en ella (Coeficiente de Utilización Biológica) fue superior para P, y el más bajo para Ca. Hubo una tendencia hacia mayores concentraciones y exportaciones de nutrientes en la madera en función de los niveles de Ca, Mg y K en el suelo.

Palabras clave: *Eucalyptus dunnii*; Suelo; Nutrientes; Uruguay; Extracción.

7. SUMMARY

In Uruguay *Eucalyptus dunnii* plantations are booming under its adaptation to soil and climate, production and quality of the wood for cellulose pulp. However, the information about the extraction of nutrients of the soil is scarce. The objectives of this study were: a) quantify nutrient exporting of commercial logs of *Eucalyptus dunnii* in soils, developed from sandstones of the west coast; b) relate the magnitude of nutrient removal with some soil chemical properties. Five commercial plantations with *E. dunnii* of harvest age (mean 12 years) were selected, and 10 trees with mean average (DBH and height) were harvested. The shaft was weighed for quantifying commercial biomass and wood, bark, branches and leaves were sampled to subsequent chemical analysis of the contents of N, P, K, Ca and Mg. Differences in the average production per tree and per year, and in the concentrations and amounts of nutrients absorbed were detected. This species showed of Ca, Mg, P and K concentrations higher than other species of the genus *Eucalyptus*, also in western coastal soils. The Ca was the mostly exported nutrient in absolute amounts, although the debarking on site came from higher nutrient exports, given its high concentration in bark. Wood production per unit of nutrient in it (Biological Utilization Coefficient) was higher for P, and the lowest for Ca. There was a trend towards higher concentrations and nutrient exports in the wood depending on the levels of Ca, Mg and K in the soil.

Keywords: *Eucalyptus dunnii*; Soil; Nutrients; Uruguay; Extraction.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ALTAMIRANO, A.; DA SILVA, H.; DURAN, A.; ECHEVARRIA, A.; PANARIO, D.; PUENTES, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, clasificación de suelos. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
2. APARICIO, J. 2001. Rendimiento y biomasa de *Eucalyptus nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso. Tesis Magíster en Ciencias. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 234 p.
3. 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.
4. _____; A. F.; DEDECEK, R. A; DA SILVA; H; GAVA, J. L.; MONEGOL, O. 1999. Nutrient export by clear cutting *Eucalyptus grandis* of different ages on two sites in Brazil. In: Workshop of Rehabilitation of Degraded Tropical Forest Ecosystems (2001, Bogor, Indonesia). Proceedings. Bogor, CIFOR. pp. 173-178.
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. 328 p.

8. DOLDAN, J.; FARINA, I.; TARIGO, F. 2008. Utilización de *Eucalyptus* spp. alternativas de plantaciones uruguayas para pulpa kraft. *Innotec*. no. 3: 30-34.
9. FERNANDEZ, R. 2002. Estrategias para minimizar los impactos de la cosecha forestal. Balance de nutrientes y condiciones físicas del suelo. *In*: Jornadas Forestales de Entre Ríos (17as., 2002, Concordia, Argentina). Trabajos publicados. Concordia, INTA. p. irr.
10. FISHER, R.F.; BINKLEY, D. 1999. Ecology and management of forest soils. 3er. ed. New York, Wiley and Sons. 435 p.
11. FOELKEL, C. 2005. Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. (en línea). s.l., *Eucalyptus Online and Newsletter*. 133 p. Consultado 18 jun. 2013. Disponible en <http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html>
12. 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.
13. 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*. no. 48: 8-17.
14. FREITAS, R.; SCHUMACHER, M.; CALDEIRA, M.; SPATHELF, E. 2004. Biomassa e conteúdo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus grandis* w. hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização, no município de alegre-re-s1. *Biomassa and Energia*. 1(1): 93-104

15. 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. *Bosque*. 27 (3): 223-230.

16. 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.

17. GONZALEZ, D. A. 2008. Extracción de nutrientes por cosecha de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*. Tesis maestría. Montevideo. Uruguay. Facultad de Agronomía. 89 p.

18. GOYA, J. F.; FRANGI, J. L.; DALLA TEA, F.; MARCO, M. A.; LAROCCHA, F. 1997. Biomasa, productividad y contenido de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus grandis* en el NE de la provincia de Entre Ríos. In: Jornadas Forestales de Entre Ríos (12as., 1997, Concordia, Argentina). Trabajos publicados. Concordia, INTA. p. irr.

19. GROVE, T.S.; THOMSON, B. D.; MALAJCZUK, N. 1996 Nutritional physiology of eucalyptus: uptake, distribution and utilization. In: Attiwill, P.M.; Adams, M. A. eds. Nutrition of eucalyptus. Collingwood, AU, CSIRO. pp. 77-108.

20. 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.

21. 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.

22. MILLER, R. E.; MORRIS, L.A. 1994. Evidence for long – term productivity change as provided by field trails. In: Dyck, W.; Cole, D.;

Comeford, N.eds. Impacts of forest harvesting on long – term site productivity. Oxford, Chapman and Hall. pp. 41- 80.

23. RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; BALBOA, M.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; MERINO, A.; SÁNCHEZ, F. 2004. Efecto de la silvicultura en la extracción de nutrientes a lo largo del turno en plantaciones de tres especies de crecimiento rápido en el norte de España. *Investigación Agraria: Sistemas de Recursos Forestales* .13 (1): 114-126.
24. SANTANA, R. C., BARROS, N. F., NEVES, J. C. L., 1999. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedencias de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sitios florestais do Estado de Sao Paulo. *Scientia Florestalis*. 56: 155–169.
25. _____.; _____.; COMERFORD, N. B. 2000. Above-ground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 30: 225–236.
26. SCHALATTER, J.; GERDING, V.; CALDERÓN, S. 2006. Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*. *Bosque*. 27(2): 115-125.
27. 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.
28. SHARMA, J. C.; SHARMA, Y. 2004. Nutrient cycling in forest ecosystems; a review. *Agricultural Reviews*. 25 (3): 157–172.
29. SWITZER, G. L; NELSON, L. E. 1972. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems; the first twenty years. *Soil Science Society of America Journal*. 36:143-147.

30. URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. COMISIÓN NACIONAL DE ESTUDIO AGROECONÓMICO DE LA TIERRA. 1979. Índices de productividad grupos CONEAT. Montevideo. 167 p.
31. _____. MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL. DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. s.f. Base de datos meteorológica. (en línea). Montevideo. Consultado 19 ago. 2012. Disponible en <http://www.meteorologia.com.uy/>
32. _____. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN GENERAL FORESTAL. s.f. Recurso forestal. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 18 dic. 2012. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/hqxpp001.aspx?7,20,441,O,S,O,MNU;E:134;2;MNU>
33. _____. _____. PRENADER. s.f. Coneat digital. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 18 dic. 2012. Disponible en <http://www.prenader.gub.uy/coneat/viewer.htm?Title=CONEAT%20Digital>
34. _____. _____. _____. s.f. Cartas de cobertura y uso del suelo. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 13 dic. 2012. Disponible en <http://www.cebra.com.uy/renare/mapa/cartas-de-cobertura-y-uso-del-suelo/>
35. VARELA, S. 2009. Cuantificación de la Extracción de nutrientes por trozas comerciales de *Eucalyptus globulus* en suelos de basamento cristalino de la zona este el país. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 112 p.

9. ANEXOS

9.1. DESCRIPCIÓN DE SITIOS – MONTES DEL PLATA

9.1.1. Descripción Sitio San Carlos

Tipo de descripción: calicata.

Condiciones tiempo de muestreo: nublado, lloviznas (dentro de monte).

Fecha: 31 de julio, 2012.

Ubicación aproximada: Latitud 32°47'48.80"S Longitud: 57°47'0.08"O.

Relieve General: Lomas suaves de 2 a 3,5%.

Relieve local: ladera media.

Geología: Sedimentos Arcillo limosos influenciados por areniscas cretácicas.

Grupo CONEAT: 10.2

Uso actual: Monte de *Eucalyptus dunnii*.

A _p 0 -10 cm	Negro (7,5YR 2,5/1); franco arcillo limoso a franco arcilloso, con abundante arena fina; color), bloques angulares medios, fuertes que rompen a finos, moderados a fuertes; duro; algo plástico; raíces abundantes, transición gradual;
A 10 – 22 cm	Negro (7,5YR 2,5/1); Franco Arcillo limoso a franco arcilloso con abundante arena fina; color), bloques angulares medios, fuertes que rompen a finos, moderados a fuertes; friable; algo plástico; raíces abundantes, transición gradual.
B _{tsl1} 22 – 42 cm	Negro (10YR 2/1), hacia la base se agrisa; arcilloso limoso; bloques angulares medios, fuertes; duros (seco); plástico, pegajoso (húmedo); caras de deslizamiento, raíces abundantes, transición gradual.
B _{tsl2} 42 - 60 cm	Gris muy oscuro (7,5YR 3/1); arcilloso; bloques angulares medios y gruesos; plástico, pegajoso; caras de deslizamiento, abundantes; pocas raíces; transición gradual.
BC 60 – 83 cm	Negro (10YR2/1) algo pardo hacia la base (7,5 YR 4/3); arcillo limoso; bloques angulares gruesos, moderados y débiles (húmedo); plástico, caras de deslizamiento comunes; débilmente pegajoso; pocas raíces; transición clara
Ck 83 – 95 cm	Pardo (7,5 YR 4/3) Arcillo limoso; bloques angulares poco desarrollados en sentido vertical, aspecto relativamente hojoso, moderados a débiles (húmedo); concreciones de carbonato de calcio, pocas a comunes, grandes pulverulentas y friables, pocas raíces.

9.1.2. Descripción Sitio Cerro Chato

Tipo de descripción: Calicata.

Condiciones tiempo de muestreo: nublado, lloviznas (dentro de monte).

Fecha: 3 de julio, 2012.

Ubicación aproximada: 31°52'06.5"S 57°31'39.5"W.

Relieve General: Lomas suaves.

Relieve Local: Ladera Alta, comienzo de una concavidad. Pendiente de 6%.

Geología: Areniscas cretácicas.

Grupo CONEAT: 9.6

Uso actual: Monte de *Eucaliptus dunnii*.

- A_p 0-32 cm Pardo rojizo oscuro (5YR 2,5/2) en húmedo, con depresiones de color 5YR 3/4 en húmedo; franco arenoso; bloques angulares medios, débiles; poros gruesos; raíces abundantes; friable; transición gradual.
- B_{t1} 32-53 cm Negro (5YR 2.5/1) en húmedo; franco arcillo arenoso; películas de arcilla en manchas, discontinuas, delgadas; bloques angulares gruesos; moteados rojos (2.5YR 4/6) pequeños, contraste neto, borde difuso; consistencia firme; transición clara.
- B_{t2} 53-70 cm Pardo rojizo oscuro (2.5YR 3/3) en húmedo; franco arcillo arenoso a arcillo arenoso; películas de arcilla continuas, gruesas; bloques angulares gruesos, fuertes; algunos revestimientos o concreciones de Fe y Mn, friables; consistencia firme; transición gradual y ondular.
- BC 70-1.10 Pardo rojizo (2.5YR 4/4.5); franco arcillo arenoso a arcillo arenoso; bloques angulares gruesos, películas de arcilla delgadas y en manchas; consistencia firme; raíces pocas; pocas concreciones de Fe y Mn, muy débiles, friables.

9.1.3. Descripción Sitio San Pedro

Tipo de descripción: Calicata.

Condiciones tiempo de muestreo: nublado, lloviznas (dentro de monte).

Fecha: 4 de julio, 2012.

Ubicación aproximada: 32°01'40.1''S 57°43'32.9''W.

Relieve General: Suavemente ondulado, lomadas suaves.

Relieve Local: Valle Plano Ladera baja. Pendiente de 0-3%.

Geología: Areniscas cretácicas. Silicificadas.

Grupo CONEAT: 9.6

Uso actual: Monte de *Eucaliptus dunnii*.

Observaciones: Bt1 es el origen pedológico. B₁₂ sería BC₁, más hidromórfico. BC sería BC₂ en contacto con horizonte C.

A _p 0-17 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco arcilloso; bloques subangulares finos, débiles; transición clara.
B ₁₁ 17-34 cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo; arcilloso; bloques angulares medios a gruesos, fuertes; películas de arcilla; consistencia firme; transición gradual.
B ₁₂ 34-55 cm	Gris oscuro (10YR 4/1), con moteados pardo amarillento oscuro (10YR4/6), algo más rojo en el centro, abundantes; arcilloso; bloques angulares gruesos; películas de arcilla abundantes; consistencia firme; transición gradual.
BC 55-62 cm	Pardo oscuro (7.5YR 3/3), con moteados rojo amarillentos (5YR 4/6), pocos, contraste neto, de borde difuso; transición gradual.
C 62+ cm	Rojo (2.5YR 4/6).

9.1.4. Descripción Sitio Santo Domingo 1

Tipo de descripción: Calicata.

Condiciones tiempo de muestreo: nublado, lloviznas (dentro de monte).

Fecha: 5 de julio, 2012.

Ubicación aproximada: 31°53'51.5"S 57°39'58.3"W.

Relieve General: Lomadas suaves.

Relieve Local: Ladera Alta. Pendiente de 3%.

Geología: Areniscas cretácicas.

Grupo CONEAT: 9.1

Uso actual: Monte de *Eucaliptus dunnii*.

A _p 0-27 cm	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo con moteados de herrumbre, pequeños, de borde difuso; franco a franco arenoso; bloques angulares medios, débiles; consistencia masiva, levemente plástico; poros grandes; fauna abundante; raíces abundantes; transición clara.
B _{t1} 27-45 cm	Negro (7.5YR 2.5/1); franco arcillo arenoso; bloques angulares medios y gruesos, débiles; películas en manchas; firme; plástico; moteados rojos (2.5YR 4/8) en el centro, y rojo amarillento (5YR 5/8) hacia afuera, comunes, hacia la base del horizonte; transición gradual.
B _{t2} 45-98 cm	Gris oscuro (7.5YR 4/1), con moteados rojos (2.5YR 4/8) en el centro, y rojo amarillento (5YR 5/8) hacia afuera, abundantes; arcilloso; bloques angulares muy gruesos, fuertes; películas de arcilla, continuas, gruesas, y caras de presión; concreciones de Fe y Mn comunes, friables, de hasta 4 mm; transición clara.
BC _k 98-110 cm	Rojo (2.5YR 5/6); con concreciones de CaCO ₃ comunes, grandes (hasta 7 cm), y de Fe y Mn friables, comunes.

9.1.5. Descripción Sitio Santo Domingo 2

Tipo de descripción: Calicata.

Fecha: 5 de julio, 2012.

Ubicación aproximada: 31°53'44.1"S 57°40'52.1"W.

Relieve General: Lomas suavemente onduladas.

Relieve Local: Ladera baja al lado de planicie. Pendiente de 2%.

Geología: Areniscas cretácicas.

Grupo CONEAT: 9.2

Uso actual: Monte de *Eucaliptus dunnii*.

A _p 0-38	Pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo; franco a franco arenoso; bloques angulares medios, que rompen a subangulares finos, débil; consistencia friable y muy friable; raíces abundantes; transición clara.
B _{t1} 38-52	Pardo oscuro (7.5YR 3/3) en húmedo; franco arcillo arenoso a arcillo arenoso; bloques angulares medios, fuertes; películas de arcilla delgadas, pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2); consistencia duro, plástico, pegajoso; transición gradual.
B _{t2} 52-70	Pardo (7.5YR 4/3), con moteados abundantes rojo oscuro (2.5YR 3/6); arcillo arenoso con gravas; películas de arcilla, gruesas, comunes, pardas (7.5YR 4/2); a veces fragmentos de areniscas no edafizadas, rojas (2.5 YR4.5/8); bloques angulares, fuertes; algunas concreciones de Fe y Mn, de hasta 4 mm, friables; consistencia duro, plástico, pegajoso; transición gradual.
BC _k 70-100	Pardo (7.5YR 4.5/3) y rojo (2.5YR 4.5/8); arcillo arenoso; películas de arcilla discontinuas; consistencia, duro, firme; con concreciones de CaCO ₃ hacia la base, grandes.
C 100 +	Rosado (7.5YR 7/3); concreciones de CaCO ₃ abundantes, grandes.

9.1.6 Parámetros Químicos de Suelos por Sitio

Santo Domingo 9.1

Sitio	Horizonte	Profundidad	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C org	Ca	Mg	K	Na	Ac. Int.	B.T.	ClCe	S.B.	P Bray
		cm			%	cmol _c kg ⁻¹						%	mg kg ⁻¹	
Sto. Domingo 9.1	Ap	0-30	4,87	3,85	1,07	3,66	0,95	0,16	0,39	0,92	5,16	6,08	85	1,0
Santo Domingo 9.1	Bt1	30-50	4,98	3,95	1,63	8,92	1,82	0,25	0,4	0,47	11,39	11,86	96	0,8
Santo Domingo 9.1	Bt2	50-98	5,7	4,44	0,32	14,04	2,93	0,40	0,46	0,16	17,83	17,99	99	0,7
Santo Domingo 9.1	BCK	98-110	7,81	7,03	0,17	25,52	2,65	0,41	0,55	0,06	29,13	29,19	100	0,6

Santo Domingo 9.2

Sitio	Horizonte	Profundidad	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C org	Ca	Mg	K	Na	Ac. Int.	B.T.	ClCe	S.B.	P Bray
		cm			%	cmol _c kg ⁻¹						%	mg kg ⁻¹	
Sto Domingo 9.2	Ap	0-38	4,88	3,86	0,93	2,79	0,68	0,28	0,41	0,92	4,16	5,08	82	0,8
Sto Domingo 9.2	Bt1	38-52	5,09	4,01	0,85	9,69	1,51	0,28	0,46	0,40	11,94	12,34	97	0,6
Sto Domingo 9.2	Bt2	52-70	5,48	4,41	0,41	10,34	1,54	0,60	0,38	0,18	12,86	13,04	99	0,7
Sto Domingo 9.2	BCK	70+	7,43	7,03	0,39	25,69	1,23	0,25	0,37	0,10	27,54	27,64	100	0,8

San Pedro

Sitio	Horizonte	Profundidad	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C org	Ca	Mg	K	Na	Ac. Int.	B.T.	ClCe	S.B.	P Bray
		cm			%	cmol _c kg ⁻¹						%	mg kg ⁻¹	
San Pedro	Ap	0-17	4,84	3,82	1,10	4,83	0,87	0,20	0,40	0,95	6,30	7,25	87	1,3
San Pedro	Bt1	17-34	5,00	4,08	1,17	10,65	1,77	0,27	0,50	0,35	13,19	13,54	97	1,0
San Pedro	Bt2	34-55	5,98	4,57	0,54	18,99	3,83	0,59	0,58	0,10	23,99	24,09	100	0,6
San Pedro	BC	55-62	6,60	5,20	0,25	2,51	3,91	0,57	0,56	0,23	7,55	7,78	97	0,7

Cerro Chato

Sitio	Horizonte	Profundidad	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C org	Ca	Mg	K	Na	Ac. Int.	B.T.	ClCe	S.B.	P Bray
		cm			%	cmol _c kg ⁻¹						%	mg kg ⁻¹	
Cerro Chato	Ap	0-32	4,83	3,87	0,85	4,66	0,59	0,31	0,42	1,03	5,98	7,01	85	0,9
Cerro Chato	Bt1	32-53	5,18	4,06	0,32	10,86	1,49	0,33	0,49	0,49	13,17	13,66	96	0,9
Cerro Chato	Bt2	53-70	5,16	4,23	0,97	16,39	2,16	0,35	0,68	0,36	19,58	19,94	98	0,7
Cerro Chato	BC	70-110	5,53	3,67	0,29	19,28	2,34	1,33	0,44	0,21	23,39	23,60	99	0,5

San Carlos

Sitio	Horizonte	Profundidad	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C org	Ca	Mg	K	Na	Ac. Int.	B.T.	ClCe	S.B.	P Bray
		cm			%	cmol _c kg ⁻¹						%	mg kg ⁻¹	
San Carlos	Ap	0-22	4,92	4,24	1,87	8,25	2,37	0,2	0,48	0	11,30	11,30	100	1,0
San Carlos	Bt1	22-42	5,56	3,91	1,90	15,95	4,95	0,31	0,83	0	22,04	22,04	100	0,9
San Carlos	Bt2	42-60	6,51	5,27	0,47	18,95	6,16	0,36	0,74	0	26,21	26,21	100	0,7
San Carlos	BC	60-83	7,82	6,85	0,17	19,35	6,23	0,32	0,72	0	26,62	26,62	100	0,8
San Carlos	Ck	83-95	7,7	5,89	0,51	25,85	6,83	0,36	0,84	0	33,88	33,88	100	0,8