

**DOSIS Y FRECUENCIAS DE FERTILIZACIÓN FOSFORADA EN EL  
ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis* EN UN  
ANDISOL COLOMBIANO.**

**VÍCTOR MAURICIO FRANCO BETANCOURT**

**CÓDIGO: 75002569**

**UNIVERSIDAD NACIONAL A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DE MEDIO AMBIENTE  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL  
PALMIRA VALLE DEL CAUCA**

**2014**

**DOSIS Y FRECUENCIAS DE FERTILIZACIÓN FOSFORADA EN EL  
ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DE *Eucalyptus grandis* EN UN  
ANDISOL COLOMBIANO.**

**VICTOR MAURICIO FRANCO BETANCOURT  
CÓDIGO: 75002569**

**Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título  
profesional de Ingeniero Agroforestal**

**DIRECTOR ECAPMA  
Álvaro Quiceno Martínez.  
Zootecnista**

**ASESORA  
Ing. María del Pilar Romero**

**UNIVERSIDAD NACIONAL A DISTANCIA UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DE MEDIO AMBIENTE  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL  
PALMIRA - VALLE DEL CAUCA**

**2014**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Palmira, 12 de Febrero 2014

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Víctor y Elena, por el esfuerzo entregado durante toda su vida para poder cumplir esta meta y hacer cumplir mis sueños.....Ser un profesional.

A mi hermana, por su ejemplo de fortaleza y tenacidad, durante los difíciles momentos que le ha tocado vivir.

A mi sobrina, por su nobleza, ternura y apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa su agradecimiento a los asesores del proyecto: Ing. Álvaro Quiceno Martínez, Ing. María del Pilar Romero (Universidad Nacional a Distancia - UNAD), Ing. Nicolás Pombo, Ing. Byron Urrego, Ing. Marcela Zapata, Ing. Rubén Darío Castaño, Ing. Ramón Arbeláez (Smurfit Kappa Cartón de Colombia).

También agradezco al experto en investigación forestal Harold Campo y su equipo de trabajo de la zona sur – Popayán Cauca (Smurfit Kappa Cartón de Colombia) por su colaboración en todas las actividades de campo.

A la compañía Smurfit Kappa Cartón de Colombia por la financiación del presente proyecto y por el respaldo de la investigación.

Finalmente a mi familia por el apoyo y acompañamiento durante el proyecto.

## RESUMEN

El fósforo es un elemento esencial en el desarrollo de las plantas, sin embargo su disponibilidad en el suelo es limitada y está determinada por las características de los suelos y su historial en la fertilización. En Andisoles la disponibilidad de fósforo se ve limitada por la presencia de Alófana y Aluminio, perjudicando la nutrición vegetal; razones por las cuales se hace necesario realizar estos estudios para evaluar la fertilización y optimizar la aplicación de este nutriente.

Se realizó ensayo en campo para evaluar el efecto de la fertilización fosforada en el establecimiento de *Eucalyptus grandis* empleando diferentes dosis y frecuencias de aplicación, en la meseta del Cauca (Colombia). Se analizaron diferencias en el crecimiento de los árboles entre tratamientos aplicados, evaluando el efecto de la fertilización, del tipo de fertilizante, las dosis y el tiempo de aplicación óptimo para el desarrollo inicial de las plantaciones. La metodología empleada fue: selección del procedimiento y diseño experimental, realización del experimento, aplicación del método estadístico e interpretación de los resultados.

Los resultados obtenidos a los seis meses de establecida la plantación, indican que la aplicación del producto granufos obtuvo los mejores resultados en cuanto a crecimiento de los árboles, aplicando una dosis de  $40 \text{ kg.ha}^{-1}$  (206 g/árbol), usando una frecuencia de aplicación de 15 días después de la siembra. Además se estimó que los tratamientos que presentan mejores incrementos diamétricos y muy similares son el 15-40-GRA (con un DCR de 34,9 mm y una Ht de 2,4 m) y el 30-40-GRA (con un DCR de 34 mm y una Ht de 2,3 m), cuyas tendencias muestran que las mejores frecuencias de aplicación de fertilizantes fosforados serían de 15 a 30 días. Estos resultados resaltan la importancia de la adecuada

selección de insumos, su optimización y forma de aplicación en plantaciones forestales de *Eucalyptus*, sirviendo de referencia para otros estudios.

## ABSTRACT

Phosphorus is an essential element in the development of plants, but its availability in the soil is limited and is determined by the characteristics of the soil and its history in fertilization. In Andisols phosphorus availability is limited by the presence of allophane and aluminum, harming plant nutrition; reasons why it is necessary to perform these studies to evaluate fertilization and optimize the application of this nutrient.

Field trial was conducted to evaluate the effect of phosphorus fertilization on the establishment of *Eucalyptus grandis* using different doses and frequencies of application, on the plateau of Cauca (Colombia). Differences in tree growth between treatments applied were analyzed, evaluating the effect of fertilization, the type of fertilizer doses and optimal application time for the initial development of plantations. The methodology was, selection procedure and experimental design, the experiment, application of statistical methods and interpretation of results.

The results at six months of established planting, indicate that application of the product granufos obtained the best results in terms of tree growth , applying a dose of 40 kg ha<sup>-1</sup> ( 206 g / tree) , using a frequency of application 15 days after planting . It was also estimated that treatments that have better and very similar diametric increments are 15 -40- GRA (with a DCR of 34.9 mm and Ht 2.4 m) and 30 -40- GRA (with DCR 34 mm and Ht 2.3 m), the trends show that the best frequencies of P fertilizer application would be 15 to 30 days. These results highlight the importance of proper selection of inputs, its optimization and application form in *Eucalyptus* forest plantations, serving as a reference for other studies.



## ÍNDICE

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	20
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
2. JUSTIFICACION.....	24
3. OBJETIVOS.....	25
3.1 GENERAL.....	25
3.2 ESPECIFICOS.....	25
4. MARCO TEÓRICO.....	26
4.1 EL PROYECTO FORESTAL DE SMURFIT KAPPA CARTÓN DE COLOMBIA.....	26
4.2 EL EUCALIPTO.....	27
4.2.1 Generalidades de la especie.....	27
4.3 MANEJO INTENSIVO EN PLANTACIONES DE EUCALIPTO.....	28
4.4 FERTILIZACIÓN DEL EUCALIPTO.....	20
4.5 NUTRIENTES ESENCIALES PARA LOS ÁRBOLES FORESTALES.....	30
4.6 FUNCIÓN DEL FÓSFORO EN LAS PLANTAS.....	31
4.7 DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO EN EL SUELO.....	32
4.8 SUELOS DE LA MESETA DEL CAUCA Y EL COMPORTAMIENTO DEL FÓSFORO.....	34
4.9 FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO PARA LAS PLANTAS.....	35

4.9.1	Humedad.....	35
4.9.2	Textura.....	35
4.9.3	Coloide inorgánico.....	36
4.9.4	Materia orgánica.....	36
4.9.5	pH del suelo.....	37
4.9.6	Material original.....	37
4.10	ALGUNAS PRÁCTICAS QUE PERMITEN MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO.....	37
4.10.1	Manejo de las dosis del Fertilizante Fosfatado.....	38
4.10.2	Ubicación del Fertilizante Fosfatado.....	38
4.10.3	Combinación de Fertilizantes Amoniacales y Fosfatados.....	39
4.10.4	Adición de Materia Orgánica.....	39
4.10.5	Control del pH del Suelo.....	40
4.11	SÍNTOMAS DE DEFICIENCIAS DE FÓSFORO.....	40
4.12	FERTILIZANTES FOSFORADOS.....	41
4.12.1	Producción.....	41
4.13	RESPUESTA DEL EUCALIPTO A LA APLICACIÓN DE FÓSFORO.....	42
4.13.1	Nutrición del eucalipto en Brasil y la aplicación de fósforo.....	42
4.13.2	Experiencias Realizadas en Colombia.....	44
4.13.3	Tipos de Fertilizantes Usados y Respuestas Obtenidas.....	45
4.14	VARIABLES DASOMÉTRICAS.....	46

4.14.1	Diámetro del Cuello de la Raíz (DCR) de una plántula.....	46
4.14.2	Medición del Diámetro (DAP) de un árbol.....	46
4.14.3	Medición de la Altura total (Ht) de un árbol.....	47
4.15	EVALUACIÓN DEL ESTADO NUTRICIONAL - ANÁLISIS FOLIAR.....	48
4.15.1	Niveles Foliare de Nutrientes en Especies del Género <i>Eucalyptus</i> .....	48
5.	METODOLOGÍA.....	50
5.1	MATERIALES.....	50
5.1.1	Selección del sitio.....	50
5.1.2	Ubicación del ensayo.....	50
5.1.3	Condiciones Agroecológicas.....	52
5.1.4	Características Edáficas.....	52
5.1.5	Material vegetal.....	54
5.1.6	Fertilizante.....	54
5.1.7	Herramientas y Equipos.....	56
5.2	MÉTODO.....	57
5.2.1	Diseño Experimental.....	57
5.2.2	Tratamientos.....	57
5.2.3	Instalación del Ensayo.....	59
5.2.4	Aplicación de Fertilizante.....	62
5.2.5	Mantenimiento, Mediciones y Análisis foliar.....	64
5.2.6	Análisis Estadístico.....	67

6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
6.1	VARIABLE DIÁMETRO AL CUELLO RAÍZ – DCR.....	68
6.2	VARIABLE ALTURA TOTAL – Ht.....	71
6.3	RESULTADOS A NIVEL FOLIAR.....	76
6.3.1	Concentración de Nutrientes a Nivel Foliar.....	76
7.	CONCLUSIONES.....	80
8.	RECOMENDACIONES.....	81
	REFERENCIAS.....	83
	ANEXOS.....	92

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla Nº 1.</b> Fertilizantes fosforados más utilizados.....	42
<b>Tabla Nº 2.</b> Estándares nutricionales para interpretación de datos en análisis foliar de <i>Eucalyptus</i> según diferentes autores.....	49
<b>Tabla Nº 3.</b> Propiedades físicas y químicas del suelo, finca Chupillauta.....	53
<b>Tabla Nº 4.</b> Contenido de nutrientes para cada producto fosforado utilizado en la fertilización.....	55
<b>Tabla Nº 5.</b> Contenido de nutrientes para otros productos utilizados en la fertilización.....	56
<b>Tabla Nº 6.</b> Descripción de los tratamientos establecidos en el ensayo finca Chipillauta – Lote 5-40.....	58
<b>Tabla Nº 7.</b> Dosis para tratamientos fertilizados con el producto DAP.....	63
<b>Tabla Nº 8.</b> Dosis para tratamientos fertilizados con el producto GRANUFOS...	64
<b>Tabla Nº 9.</b> Estándares nutricionales para interpretación de datos en análisis foliar de <i>Eucalyptus</i> de uno a dos años de edad.....	76

<b>Tabla N° 10.</b> Concentración foliar de nutrientes Estudio 5–40, finca Chupillauta.....	77
---	----

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura N° 1.</b> Distribución del proyecto forestal.....	26
<b>Figura N° 2</b> Ubicación del ensayo finca Chipillauta – Lote 5-40.....	51
<b>Figura N° 3.</b> Organización del ensayo finca Chipillauta – Lote 5-40.....	59
<b>Figura N° 4.</b> Medición de la altura de los árboles e instrumento utilizado para mediciones.....	65
<b>Figura N° 5.</b> Medición del diámetro al cuello de la raíz e instrumento utilizado para mediciones.....	65
<b>Figura N° 6.</b> Esquema de la división en altura de Eucaliptos (tercios) y de los tipos de hojas según su edad en las ramas de los distintos tercios considerados en el muestreo para el análisis foliar.....	66

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>pág.</b>
<b>Gráfica Nº 1.</b> Medias de los diámetros al cuello de la raíz por producto y tratamiento.....	69
<b>Grafica Nº 2.</b> Distribución diamétrica del mejor tratamiento (15-40-GRA).....	69
<b>Grafica Nº 3.</b> Distribución diamétrica del más bajo tratamiento (45-20-DAP).....	70
<b>Grafica Nº 4.</b> Medias del diámetro al cuello de raíz por tratamiento.....	71
<b>Grafica Nº 5.</b> Medias de las alturas por producto y tratamiento.....	72
<b>Grafica Nº 6.</b> Medias de la altura por tratamiento.....	74
<b>Grafica Nº 7.</b> Medias del volumen (m <sup>3</sup> ) a los 6 meses por tratamiento.....	75
<b>Grafica Nº 8.</b> Desviación con respecto al óptimo por tratamiento para el elemento fósforo.....	79



## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<b>pág.</b>
<b>Fotografías N° 1,2.</b> Delimitación de bloques y marcación de inicio de tratamientos.....	60
<b>Fotografía N° 3.</b> Sitio marcado, plateado y hoyado.....	61
<b>Fotografías N° 4A y 4B.</b> Siembra del Estudio.....	62
<b>Fotografía N° 5.</b> Fertilización al momento de la siembra.....	63
<b>Fotografías N° 6,7</b> Contraste en altura entre los árboles de los diferentes tratamientos.....	73

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo 1.</b> Dosis de fertilizantes fosforados para especies de <i>Eucalyptus</i> y <i>Pinnus</i> basadas en el contenido de arcilla y el fósforo disponible en el suelo.....	93
<b>Anexo 2.</b> Características químicas de los suelos finca Chupillauta lote 5-40.....	94
<b>Anexo 3.</b> Formato de campo para recolección información, mediciones de variables diámetro al cuello de raíz y altura total.....	95
<b>Anexo 4.</b> Paso a paso para el análisis de información de variables dasométricas y resultados de muestras foliares en el programa SAS.....	96
<b>Anexo 4 a.</b> Análisis variables DCR y Ht.....	96
<b>Anexo 4 b.</b> Análisis resultados muestras foliares.....	98
<b>Anexo 5.</b> Resultados comparación de medias variable diámetro al cuello de raíz – DCR, mediante prueba de Duncan.....	99
<b>Anexo 6.</b> Resultados comparación de medias variable Altura total – Ht, mediante prueba de Duncan.....	100

<b>Anexo 7.</b> Estadísticos de variables dasométricas (Diámetro al cuello de raíz y altura) por tratamiento.....	101
<b>Anexo 8.</b> Deficiencias de fósforo en algunos árboles.....	102
<b>Anexo 9.</b> Diferencias en el crecimiento de los árboles entre los tratamientos aplicados.....	103
<b>Anexo 9 a.</b> Árboles de tratamientos aplicados con DAP.....	103
<b>Anexo 9 b.</b> Árboles de tratamientos aplicados con GRANUFOS.....	104
<b>Anexo 10.</b> Relación toma de muestras por bloque, tratamiento y árbol.....	105

## INTRODUCCIÓN

La aplicación de fertilizantes tiene por objetivo entregar a las plantas el complemento nutricional necesario para que estas se desarrollen apropiadamente y logren tasas de crecimiento que satisfagan los requerimientos de los propietarios de las plantaciones. Para ello, es preciso considerar las características físicas y químicas de los suelos, las dosis y época de aplicación de nutrientes, y las características de la especie, como también, el clima local que predomina en un sitio determinado. Esto permite emplear la combinación óptima de factores, de suelo, planta y clima, (TORO, 1995).

En el establecimiento de plantaciones, el problema de nutrientes es un aspecto muy importante a considerar y que puede ser alterado mediante la fertilización. Los beneficios que una adecuada fertilización puede generar son muchos al agregar los nutrientes faltantes o limitantes, debido al estímulo en el desarrollo de las raíces, permitiendo a la planta una mayor ocupación del suelo, aprovechando en forma más eficiente el agua y los nutrientes disponibles. Así se logra una mayor supervivencia, un rápido crecimiento inicial y cierre de las copas, lo cual disminuye o elimina la competencia, obteniéndose un rodal más uniforme y un mayor rendimiento al momento de la cosecha, (GARCÍA et al, 2000).

Para el proyecto forestal de Smurfit Kappa Cartón de Colombia el manejo de una adecuada nutrición y una silvicultura de precisión son vitales en el mantenimiento de la productividad en las plantaciones; es por esto que el proceso de investigación de la empresa maneja un programa de monitoreo de plantaciones juveniles con el fin de conocer su estado nutricional y de crecimiento. Estos estudios han detectado que el 76% de las parcelas se encontraban por debajo del óptimo foliar para el fósforo, identificando una oportunidad para generar acciones encaminadas a mejorar el manejo y control de nutrientes para optimizar la

productividad forestal, (ZAPATA, 2013). El fósforo es un nutrimento limitado y por lo tanto es necesario hacer estos estudios en busca de optimizar la aplicación de este nutriente en el suelo.

El presente trabajo pretendió obtener información y herramientas que sirvan de soporte a las prescripciones de aplicación de fertilizante fosforado al establecimiento de las plantaciones forestales de *Eucalyptus grandis* de la empresa, Smurfit Kappa Cartón de Colombia, establecidas en suelos del cauca (Colombia).

Este estudio es atrayente porque brinda información para corregir las limitaciones del nutriente encontradas en el suelo y en el follaje de las plantaciones jóvenes del proyecto forestal. Además, servirá como oportunidad de mejora para la actividad de fertilización fosforada al momento de la siembra del *Eucalypto*, ya que arrojará datos sobre la frecuencia de aplicación, dosis y producto más adecuado desde el punto de vista de crecimiento inicial, mejorando la relación beneficio/costo.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las plantaciones forestales de *Eucalyptus grandis* en Smurfit Kappa Cartón de Colombia se encuentran ubicadas en el suroccidente Colombiano, en suelos principalmente derivados de cenizas volcánicas, estos representan 64% del área total; siguen en importancia los derivados de diabasas, basaltos, gabros con 36%. Predominan las texturas francas y arcillosas sobre las características arenosas, expresado por SKCC, (2004).

Los suelos derivados de cenizas volcánicas se caracterizan por su variación en la profundidad efectiva, texturas medias, muy porosos, bien estructurados, estables y resistentes a la erosión, con alta capacidad de retención de humedad, que identifican suelos de adecuadas condiciones físicas para el desarrollo de las plantaciones forestales; desde el punto de vista químico son, en general, de muy baja fertilidad natural, altamente fijadores de fósforo debido a la presencia de arcillas Alófanas y pH alto, su reserva de nitrógeno total es muy alta.

MALAVOLTA et al (1989), mencionan que el fósforo es absorbido por las plantas principalmente como iones de  $H_2PO_4$  y  $HPO_4$ . El contenido de fósforo en los tejidos vegetales va desde 0,1 a 0,5%. Las raíces son capaces de absorber soluciones de fosfato en baja concentración. En general, la concentración de P en las células de la raíz y del xilema es de aproximadamente 100 veces mayor que en la solución del suelo.

Las investigaciones realizadas por Smurfit Kappa Cartón de Colombia, reafirman el concepto de que el fósforo un elemento esencial y de gran importancia en el desarrollo de las plantas; es así como indican que el 76% de 845 parcelas de plantaciones jóvenes de *Eucalyptus grandis* estudiadas se encontraban por debajo

del óptimo foliar (0.12%), reportado por ZAPATA, (2013). Partiendo de estos resultados se plantea una oportunidad para estudiar el efecto de la fertilización fosforada al momento de plantar empleando diferentes dosis y frecuencias.

La necesidad de fertilización de una plantación puede obtenerse por el método de ensayos de campo, ideal para la evaluación de fertilidad. En este, es evaluada la respuesta a la fertilización para la especie de interés y medida en el campo en parcelas con comportamiento similar a las áreas en que se extiende el cultivo. Se evalúa la respuesta en altura, producción, resistencia a enfermedades, con diferentes dosis de nutrientes y se concluye cual es la mejor respuesta desde el punto de vista producción vs costo.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El proceso de investigación del proyecto forestal de Smurfit Kappa Cartón de Colombia tiene como objetivo aumentar o mantener la productividad potencial de las plantaciones de *Eucalyptos*. De esta manera, la evaluación de la fertilización al momento de plantar es viable mediante un ensayo de campo ya que los resultados de la investigación prestarán información que permitirá el mejoramiento permanente de la productividad y calidad de las plantaciones forestales de la empresa, hipótesis que permitirá optimizar el procedimiento de aplicación de fertilizantes al momento del establecimiento de las plantaciones de eucalipto y además para brindarnos herramientas que apoyaran la corrección de las deficiencias nutricionales de fósforo encontradas en las plantaciones juveniles de eucalipto.

Así mismo, el establecimiento del ensayo en campo es factible ya que se ciñe al objetivo del proyecto forestal de Smurfit Kappa Cartón de Colombia, el cual es establecer, manejar y cosechar plantaciones en terrenos de aptitud forestal propios y de asociados, con especies que le aseguren una fuente sostenible de madera para producir competitivamente pulpa, papeles y cartones, **obteniendo la mayor productividad**, en armonía con el ambiente y desarrollando las mejores condiciones de trabajo y de vida para los trabajadores junto con las comunidades en las zonas de influencia.

Además, es posible ya que se dispone del apoyo (económico, material y humano) de los procesos de investigación y silvicultura del proyecto forestal y al mismo tiempo estoy autorizado para el acceso a las áreas forestales donde se desarrollará la investigación.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 GENERAL**

Evaluar la respuesta de la fertilización fosforada en el establecimiento de *Eucalyptus grandis* empleando diferentes dosis y frecuencias de aplicación, en la meseta del Cauca (Colombia).

#### **3.2 ESPECÍFICOS**

- Analizar las diferencias en el crecimiento de los árboles entre los tratamientos aplicados con los productos DAP y GRANUFOS.
- Valorar las respuestas en el crecimiento de los árboles y encontrar la dosis y el producto que obtuvo mejor resultado desde el punto de vista desarrollo inicial vs costo.
- Comparar los resultados del análisis foliar de cada tratamiento con el valor óptimo para el nutriente fósforo.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 EL PROYECTO FORESTAL DE SMURFIT KAPPA CARTÓN DE COLOMBIA

SKCC, (2013), calcula que el Proyecto Forestal actual tiene una base de tierras de 68.534 ha, de las cuales 43.618 ha son plantaciones de pino y eucalipto y 21.762 ha, son bosques naturales.

La Figura N° 1, muestra la distribución del proyecto forestal, situado sobre las cordilleras Occidental y Central de Colombia en siete departamentos y 36 municipios y para efectos administrativos internos se divide en tres Zonas (Norte, Centro y Sur) que a su vez se dividen en 17 Núcleos Forestales (SKCC, 2013).

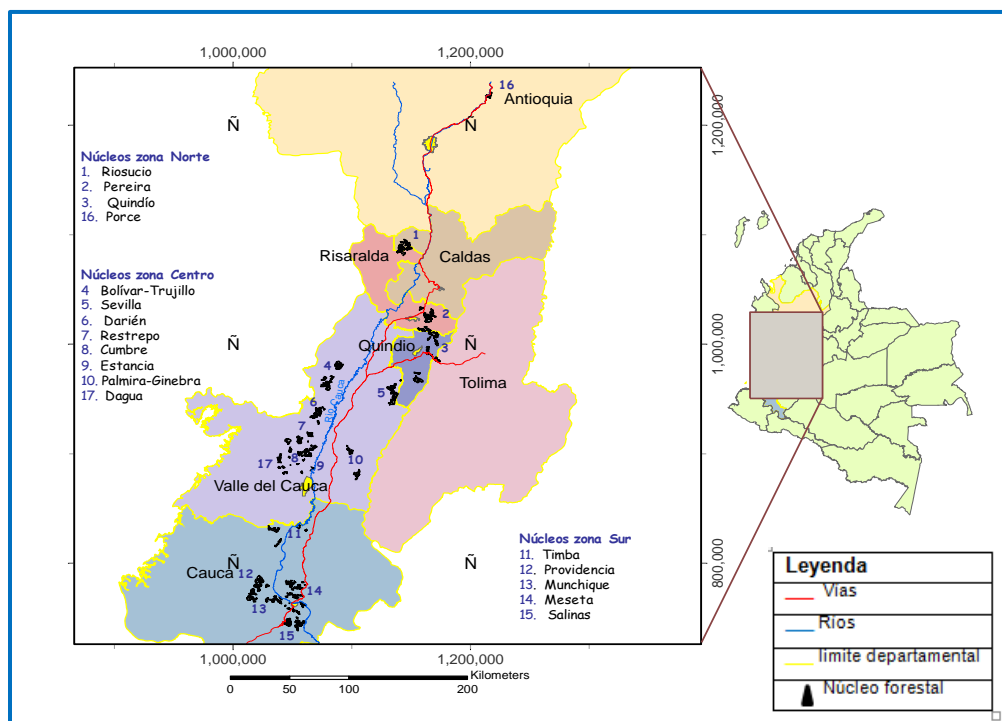


Figura N° 1. Distribución del proyecto forestal. (SKCC, 2013).

## **4.2 EL EUCALIPTO**

OSPINA et al, (2006), describe que el nombre científico del eucalipto es *Eucalyptus grandis*, pertenece a la familia *Myrtaceae* y se conoce con otros nombres según las diferentes regiones, entre ellos tenemos: Eucalipto, eucalipto rosado.

### **4.2.1 Generalidades de la especie**

DEL VALLE, (1972), menciona que el *Eucalyptus*, es un Género de árboles (y algunos arbustos) de la familia de las mirtáceas. Existen alrededor de 600 especies, la mayoría oriundas de Australia. En la actualidad se encuentran distribuidos por gran parte del mundo y debido a su rápido crecimiento frecuentemente se emplean en plantaciones forestales para la industria papelera, maderera o para la obtención de productos químicos, además de su valor ornamental.

OSPINA et al. (2006), Indica que el *Eucalyptus grandis* es originario de Australia y se desarrolla naturalmente en zonas que presentan un rango altitudinal que va desde 0 hasta 900 msnm, con precipitación media anual entre 1.000 y 1.780 mm, una estación seca de tres meses en promedio y temperatura mínima de 5°C y máxima de 35°C. Además expone que en nuestro país crece bien entre los 1.000 y 2.000 m.s.n.m., y es una de las especies forestales más cultivadas en los departamentos del Cauca, Valle del Cauca, Caldas, Risaralda y Antioquia. Por su alta productividad es la especie preferida para la producción de pulpa de fibra

corta. En el país se tienen plantaciones con fines comerciales en un área de 15.984 hectáreas.

#### **4.3 MANEJO INTENSIVO EN PLANTACIONES DE EUCALIPTO**

PEREIRA et al. (1996), afirma que la productividad de las plantaciones forestales depende de las diferentes técnicas de tratamiento silvicultural, siendo de mayor importancia la intensiva preparación del suelo y la fertilización. LYON, (1990), documenta que los buenos incrementos en el crecimiento inicial y la supervivencia en las plantas de *E.delegatensis* y *E. globulus*, son debido a una combinación entre preparación del suelo, control de malezas y adición de fertilizantes.

TORO, (1995), menciona que la preparación del suelo actúa sinérgicamente con la fertilización. Una apropiada preparación de suelo requiere conocer previamente las limitaciones existentes en un sitio determinado. APARICIO et al. (2001), relata que las mayores demandas nutricionales en una plantación se presentan en su primera etapa de crecimiento (Plantación hasta cierre de copas), ya que en esta predomina la formación de tejidos productores de clorofila. Por otra parte, la intensificación de la fertilización está basada en las deficiencias encontradas después de haber tenido unas bases experimentales sólidas.

Por otra parte, JUDD et al. (1996), definen que los suelos “más fértiles”, se esperan que sean aquellos con mayor disponibilidad de nitrógeno y fósforo. La disponibilidad de estos nutrientes bajo el bosque está en función de la tasa de productividad, las tasas de reciclaje de la materia orgánica y descomposición, la tasa de mineralización y que no es posible separar los determinantes suelo, clima y especie de estas tasas. Además, las concentraciones de nutrientes en el follaje estarían positivamente correlacionadas con la fertilidad del suelo.

Finalmente, los suelos forestales generalmente presentan deficiencias extremas en fósforo, lo argumenta (MC LAUGHLIN, (1996). El grado de ortofosfato y fósforo en la solución del suelo, requeridos por algunos eucaliptos aún no se han determinado, debido a que se han desarrollado en un ambiente de bajo fósforo disponible, pero estos cuentan con mecanismos eficientes para la adquisición y utilización del nutriente (SMETHURST Y WANG, 1998). Lo anterior es confirmado por PEREIRA *et al.*, (1996) quienes afirman que *E. globulus* crece bien en suelos pobres en fósforo, donde la vegetación nativa se mantiene con bajas tasas de productividad.

#### **4.4 FERTILIZACIÓN DEL EUCALIPTO**

RUIZ *et al.* (2001), afirman que la técnica más eficiente para acelerar el crecimiento y aumentar la supervivencia del *Eucalyptus*, tanto en las plántulas de vivero como establecidas en el campo es la **fertilización**. En términos operacionales, pueden distinguirse tres tipos de fertilización cuando esta se realiza sobre masas de *Eucalyptus* ya establecidas: a) Fertilización inicial o de arranque; b) Fertilización de mantenimiento o a mediana edad; c) Fertilización de Brotación o post-aprovechamiento. La aplicación de cualquiera de ellas exige el conocimiento de la demanda nutricional de la planta en cada momento, además de la capacidad del terreno para asegurar dicha nutrición en la cantidad y tiempo adecuados.

Sin embargo, GARCÍA *et al.* (2000), destacan que la fertilización es una práctica que necesariamente debe ser acompañada de una buena preparación del suelo y un adecuado control de malezas, de esta manera se podrán asegurar los máximos beneficios de la fertilización.

Por último, cuenta que la época de aplicación de fertilizantes debe coincidir con la época de plantación. Algunas veces la fertilización se realiza 2 a 3 semanas después de haber plantado, principalmente por razones operativas. Las plantaciones realizadas en invierno son fertilizadas en primavera para que el fertilizante esté disponible en el periodo máximo de crecimiento de la planta. En el caso de plantaciones de primavera se deberá plantar y fertilizar al mismo tiempo, o lo más cercano posible.

#### **4.5 NUTRIENTES ESENCIALES PARA LOS ÁRBOLES FORESTALES**

VÁSQUEZ, (2001), describe que los árboles como cualquier otro cultivo necesitan de 16 elementos conocidos como esenciales para el crecimiento; de estos tenemos los macronutrientes Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S).

Los micronutrientes Hierro (Fe), Cobre (Cu), Cloro (Cl), Manganeso (Mn), Boro (B), Zinc (Zn) y Molibdeno (Mo), son fundamentales en el desarrollo de las plantaciones. Además de estos elementos obtenidos del suelo, las plantas también necesitan 3 elementos que se originan en la atmósfera y son: Carbono (C), Hidrógeno (H) y Oxígeno (O).

Igualmente relata que son dos los factores que limitan el crecimiento de los árboles: las características genéticas y las condiciones del sitio en el cual crece. El componente genético se ha trabajado bastante, mediante selección de árboles superiores, rodales semilleros, huertos semilleros, ensayos de procedencia y ensayos de progenie.

EPSTEIN, (1972) y MARSCHNER, (1995), quienes mencionan que en función de su movilidad dentro de la planta (re translocación), los elementos pueden ser clasificados en móviles (N, P, K, Mg, S, Cl, Ni), inmóviles (B, Ca) y de movilidad intermedia (Zn, Fe, Mn, Cu, Mo).

#### **4.6 FUNCIÓN DEL FÓSFORO EN LAS PLANTAS**

DELL et al. (1995), indican que el fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de plantas, relacionado con muchos procesos metabólicos, ya que es fundamental en la transferencia de energía a través de ésteres de fosfato y fosfatos ricos en energía. Es un constituyente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, fosfoproteínas, fosfoésteres, dinucleótidos y ADP.

De esta manera el fósforo es requerido para almacenar y transformar energía; para la fotosíntesis, transporte de electrones, regulación de algunas enzimas y transporte de carbohidratos. La bioquímica de carbohidratos y el transporte de éstos son particularmente afectados cuando hay deficiencia de fósforo.

Es un nutriente móvil por floema y se observan las deficiencias primero en las hojas viejas, para luego ser redirigido a las hojas jóvenes y desde la "*corteza interna*" hacia brotes en desarrollo. El exceso de fósforo se acumula como fósforo inorgánico en la corteza más interna.

MURAOKA et al, (1995), expresan que el fósforo es absorbido por las plantas principalmente como iones de  $H_2PO_4$ . El contenido de fósforo en los tejidos vegetales que van desde 0,1 a 0,5%. Las raíces son capaces de absorber soluciones de fosfato con muy bajas concentraciones de fosfato. En general, la concentración de fósforo en las células de la raíz y del xilema es de

aproximadamente 100 veces mayor que en la solución del suelo. La absorción de fósforo, por lo que es un proceso activo.

#### **4.7 DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO EN EL SUELO**

RODRÍGUEZ, (1991), afirma que la disponibilidad de fósforo en el suelo está determinada por las características del sistema de fósforo en los distintos suelos y por su historial de fertilización fosforada. Al mismo tiempo fundamenta que los principales componentes del sistema del fósforo en los distintos suelos, corresponden al fósforo absorbido en las arcillas y en los óxidos, al fósforo orgánico del suelo, al fósforo de los minerales y precipitados del fósforo en el suelo y al fósforo inorgánico de la solución del suelo. Desde este último componente del sistema de fósforo del suelo las raíces de los árboles absorben el fósforo para satisfacer sus requerimientos.

SANZANO, (2013), relata que los residuos vegetales y animales que se adicionan al suelo son la principal fuente de fósforo orgánico. Los compuestos fosfatados más importantes de la materia orgánica son nucleoproteínas, fosfolípidos y fosfoazúcares. La mineralización de la materia orgánica es lenta y por vía microbiana, requiriendo temperaturas de aproximadamente 25 a 30 °C, pH neutro y humedad cercana a capacidad de campo. El proceso de mineralización está regido por la relación C/P de la materia orgánica, cuyo valor crítico es aproximadamente 200. Por encima de este valor se produce depresión del fosfato inorgánico (fenómeno similar al de la depresión de los nitratos).

SANZANO, (2013), describe que el fósforo inorgánico se puede clasificar de acuerdo a su disponibilidad para las plantas, este puede ser fósforo soluble y/o intercambiable e insoluble. **El Fósforo soluble**, está representado en los fosfatos



presentes en la solución del suelo. Su concentración es muy baja y fluctúa entre 200 a 400 g/ha en 30 centímetros de espesor. En suelos muy ricos la concentración puede llegar hasta 1 mg/lit (1 ppm) y en suelos pobres a 0,1 mg/lit.

Las formas solubles de fósforo en el suelo son los fosfatos diácidos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y monoácidos ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). La concentración de los iones fosfatos en solución está relacionada con el pH de la misma. El ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  es favorecido por los pH bajos, mientras que el ion  $\text{HPO}_4^{2-}$  por los pH más altos, (SANZANO, 2013).

**El Fósforo intercambiable**, también llamado fósforo adsorbido, tiene una disponibilidad más lenta que el fósforo soluble. La adsorción de fosfatos, es un fenómeno que depende del pH. A pH ácidos aumentan las cargas positivas de los coloides y por ende, aumenta la adsorción. Estos iones forman parte del enjambre de iones que rodean a las partículas coloidales y están en constante movimiento. Representan del 15 al 30% del fósforo inorgánico, lo que significa 800 a 2500 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha. Este fósforo intercambiable puede estar adsorbido directamente por los bordes de las arcillas (cuando están tienen cargas positivas como la caolinita a bajos valores de pH), o por uniones que usan al calcio como puente (en las arcillas de tipo 2:1). También puede estar adsorbido por los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, que tienen un poder de fijación mucho mayor que el de las arcillas, (SANZANO, 2013).

**El Fósforo insoluble**, constituye la gran reserva de fósforo inorgánico en el suelo, está formando parte de los minerales primarios y secundarios. La insolubilización se puede deber a la precipitación como fosfatos cálcicos en medio alcalino, o como fosfatos de hierro y aluminio en medio ácido. Tanto en suelos ácidos como alcalinos, el fósforo tiende a sufrir una cadena de reacciones que producen compuestos fosforados de baja solubilidad. Por lo tanto, durante el largo tiempo que el fósforo permanece en el suelo, las formas menos solubles, y por ende las

menos disponibles para la planta, tienden a aumentar. Cuando se agrega fósforo soluble al suelo, usualmente ocurre una rápida reacción (de unas pocas horas) que remueve el fósforo de la solución (fija el fósforo). Lentas reacciones posteriores continúan gradualmente reduciendo la solubilidad durante meses o años, según la edad de los compuestos fosfatados. El fósforo recientemente fijado puede ser débilmente soluble y de algún valor para las plantas. Con el tiempo, la solubilidad del fósforo fijado tiende a decrecer a niveles extremadamente bajos. Este fenómeno se conoce como envejecimiento del fósforo, (SANZANO, 2013).

LUGO, (1986), relata que el pH influye en la disponibilidad del fósforo inorgánico, disminuyendo en suelos ácidos. Actúa marcadamente en la reproducción y crecimiento vegetal, así como en el desarrollo de las raíces y buena formación de los frutos. Los árboles absorben de 4-12 kg/ha por año de fósforo, retornando el 80% con la caída de las hojas.

#### **4.8 SUELOS DE LA MESETA DEL CAUCA Y EL COMPORTAMIENTO DEL FÓSFORO:**

Según estudios realizados por SKCC (2004), los suelos identificados en el Núcleo La Meseta son en su mayoría formados a partir de cenizas volcánicas de los diferentes focos de eyección que se encuentran en la Cordillera Central. Estos suelos son muy bajos en bases y fósforo, el aluminio, con algunas excepciones, es bajo, pero su saturación es alta debido al bajo contenido de bases totales, presentan retención de humedad variable con tendencia a ser alta y en su mayoría fueron clasificados como andisoles. Estos presentan un uso forestal adecuado.

El suelo de la unidad cartográfica es el Acrudoxic Hydric Hapludands, se caracteriza por presentar un horizonte superficial (epipedón) estrecho, de baja saturación de bases, con menos de 30 cm de grosor y una retención de humedad a punto de marchitamiento permanente (1,5 MPa) entre 70 y 100%.

El elemento **Fósforo**, en su forma mineral, es totalmente deficiente a nulo, por lo tanto debe aplicarse en forma localizada y con fuentes de baja solubilidad. La aplicación de fósforo favorece la mineralización de la materia orgánica.

## **4.9 FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO PARA LAS PLANTAS**

### **4.9.1 Humedad**

RAMÍREZ, (2012), expone que el movimiento del fósforo aumenta con el contenido de agua del suelo. Así mismo explica que la absorción de fósforo por las plantas aumenta cuando la succión matriz del suelo disminuye, lo que concuerda con el concepto de que la transferencia del nutriente a las raíces se efectúa por medio del agua.

### **4.9.2 Textura**

SANZANO, (2013), describe que esta influye en la asimilabilidad del fósforo tanto por el contenido de agua que el suelo puede retener como por la contribución a la riqueza del fósforo del suelo. Los suelos de textura gruesa tienen menor contenido de agua que los de textura fina a cualquier succión matriz, y por lo tanto menor difusión del fósforo hacia la raíz. Por otra parte la cantidad de fósforo lábil o

intercambiable será menor en los suelos de textura gruesa que los de textura fina que tienen mayor capacidad de adsorción de aniones.

#### **4.9.3 Coloide inorgánico**

RAMÍREZ, (2012), indica que en el coloide inorgánico son muy importantes el tipo y la cantidad de arcilla. Algunos minerales de arcilla son mucho más fijadores que otros. Generalmente aquellas arcillas que poseen gran capacidad de adsorción de aniones, tienen una gran afinidad por los iones fosfato. Por ejemplo, una fijación extremadamente alta es característica de las arcillas alófanas, que se encuentran típicamente en los Andisoles y otros suelos asociados con cenizas volcánicas. Los óxidos de hierro y aluminio, tales como la gibsita y la goetita, también pueden atraer y retener fuertemente los iones fósforo. Entre las arcillas silicatadas, la caolinita tiene la mayor capacidad de fijación de fósforo. Las arcillas de tipo 2:1 de los suelos menos meteorizados, tienen una relativamente pequeña capacidad de retener el fósforo.

#### **4.9.4 Materia orgánica**

SANZANO, (2013), relata que una fuente permanente de fósforo se da a través de la materia orgánica, la cual es producto de los procesos de descomposición y mineralización que liberan nutrientes a la solución del suelo. La materia orgánica generalmente tiene poca capacidad para fijar fuertemente los iones fosfato. Los suelos ricos en materia orgánica, especialmente de fracciones activas de la misma, casi siempre exhiben relativamente bajos niveles de fijación de fósforo.

#### **4.9.5 pH del suelo**

RAMÍREZ, (2012), narra que la fijación de fósforo ocurre tanto en valores altos como bajos de pH. Los fosfatos de hierro y aluminio se hacen algo menos solubles cuando el pH sube desde menos de cinco hasta seis y los fosfatos de calcio incrementan su solubilidad cuando el pH cae desde más de ocho hasta menos de seis. Por lo tanto, como regla general en los suelos minerales, la fijación de fosfatos es baja (y la disponibilidad para la planta es alta) cuando el pH se mantiene en el rango entre seis y siete. Incluso en este rango de pH, la disponibilidad puede ser todavía muy baja, y los fosfatos solubles adicionados serán rápidamente fijados por el suelo. El bajo aprovechamiento por las plantas del fosfato agregado al suelo en una estación dada, es debido parcialmente a esta fijación. Un gran aprovechamiento deberá esperarse en los suelos orgánicos y en las mezclas preparadas de suelo, donde las concentraciones de calcio, hierro, y aluminio no son tan altas como en los suelos minerales.

#### **4.9.6 Material original**

SANZANO, (2013), destaca que la disponibilidad de fósforo depende de la riqueza del material original, siempre y cuando estas condiciones no sean limitantes.

### **4.10 ALGUNAS PRÁCTICAS QUE PERMITEN MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO**

RAMÍREZ, (2012), cuenta que las raíces de las plantas presentan una dificultad para absorber la cantidad adecuada de fósforo que satisfaga sus necesidades, sin importar que estén presentes en suelos minerales con gran capacidad para remover iones de fosfato de la solución y fijarlos a la superficie de las partículas.

El fósforo en el fertilizante está también sujeto a la fijación en la superficie de las partículas, y probablemente solo un 10 -15% del fósforo agregado sea tomado por las plantas en el mismo año de la aplicación. En consecuencia, la disponibilidad de fósforo es un factor limitante en muchos agro ecosistemas. Basándonos en los principios del comportamiento del fósforo del suelo, una serie de recomendaciones pueden sugerirse para mejorar el problema de la fertilidad fosfórica.

#### **4.10.1 Manejo de las Dosis del Fertilizante Fosfatado**

SANZANO, (2013), define que si se puede agregar bastante fósforo, la capacidad de fijación del mismo puede saturarse, incluso en los suelos muy fijadores. Esta puede alcanzarse con una o dos dosis masivas de fósforo (usualmente como fertilizante fosfórico, roca fosfatada, o abono animal), o por la adición anual durante varios años de más cantidad de fósforo que la removida por la cosecha. La rápida o la lenta acumulación alcanzada podrán satisfacer la mayor parte de los sitios de fijación y llevará al suelo a niveles tan altos de fósforo que se mantendrá en suficiente cantidad en la solución del mismo, a pesar de la gran capacidad de fijación inicial. La aplicación de dosis masivas puede ser muy costosa, por lo que solo se utiliza en sistemas de agricultura intensiva. La segunda desventaja para esta opción es la potencial polución del agua que se produce por la gran cantidad de fósforo liberado hacia el agua de escurrimiento en los suelos saturados con fósforo.

#### **4.10.2 Ubicación del Fertilizante Fosfatado**

RAMÍREZ, (2012), menciona que para favorecer la absorción de fósforo por las raíces de las plantas se debe minimizar la oportunidad de reacción del mismo con

el suelo. Generalmente, si el fertilizante es colocado directamente en la zona radicular, puede utilizarse un medio a un tercio del mismo, con respecto a una aplicación en donde se lo mezcle excesivamente con el suelo. El punto de ubicación es muy usado cuando la aplicación es manual, pero actualmente se está desarrollando maquinaria que "inyecta" el fertilizante para encontrar el punto de ubicación aún en los sistemas mecanizados. Las aplicaciones en banda constituyen prácticas comunes para la fertilización de arranque. Los árboles son usualmente fertilizados con pellets. En sistemas de siembra directa, se hace una banda superficial.

#### **4.10.3 Combinación de Fertilizantes Amoniacales y Fosfatados**

SANZANO, (2013), señala que si se usa amonio junto con el fertilizante fosfórico se produce un gran incremento en la absorción de fósforo por parte de la raíz, especialmente en los suelos alcalinos. Este aumento en la absorción está probablemente relacionado a los ácidos producidos durante los procesos de nitrificación y a los ácidos que producen las raíces cuando toman el nitrógeno en forma de amonio. Los fertilizantes de fosfato mono y diamónico ofrecen esta ventaja.

#### **4.10.4 Adición de Materia Orgánica**

RAMÍREZ, (2012), establece que además del fósforo orgánico provisto para la mineralización, la materia orgánica del suelo puede aumentar la disponibilidad de fósforo por reducción de la tendencia de la fracción mineral a fijar el nutriente. Esto se debe al enmascaramiento de los sitios de fijación por el humus, los ácidos orgánicos y los quelatos de hierro y aluminio. El retorno de los residuos, incluyendo los abonos verdes en las rotaciones de cultivo, el mulching con varios

materiales orgánicos, y la adición de abonos de origen animal y otros desechos descomponibles, pueden incrementar el fósforo disponible.

#### **4.10.5 Control del pH del Suelo**

SANZANO, (2013), menciona que algún control sobre la solubilidad del fósforo puede lograrse manteniendo del pH del suelo entre 6 y 7. Este mantenimiento es generalmente más práctico en los suelos menos meteorizados que en aquellos más evolucionados de las regiones cálidas y húmedas. Un encalado oportuno puede contribuir para mejorar la disponibilidad de fósforo en muchos casos, pero si no existe material calizo disponible en la zona, el costo puede ser prohibitivo.

En resumen, la mayor parte de los suelos tiene una pequeña cantidad de fósforo disponible, la cual debe ser repuesta por una serie de procesos. El mantenimiento de suficiente fósforo disponible en un suelo es básicamente un programa doble:

- Adición de fertilizante fosfatado o de enmienda
  
- Algún grado de regulación de las propiedades de suelo que fijan tanto el fósforo adicionado como el nativo.

#### **4.11 SÍNTOMAS DE DEFICIENCIAS DE FÓSFORO**

KAUL et al, (1966, 1968, 1970a y 1970b); BALLONI, (1978); DELL et al (1995), DELL, (1996);.. SILVEIRA et al, (1996, 2000 y 2001 a), expresan que el fósforo es móvil en los tejidos, por lo tanto, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas más viejas. En la etapa inicial de la deficiencia, las hojas más viejas son de color



verde oscuro con aparecer junto a las venas violáceas y manchas oscuras a lo largo de la lámina de la hoja. En la etapa final, las puntuaciones progresando en tamaño y se convierten en necrótico.

En el campo en condiciones de deficiencia severa, se produce reduciendo drásticamente el tamaño de las plantas, que son completamente púrpura. Se ha observado comúnmente en el extremo de las filas de siembra, donde a menudo la de fertilizantes de fosfato no termina hasta que se aplica.

## **4.12 FERTILIZANTES FOSFORADOS**

### **4.12.1 Producción**

RODRÍGUEZ Y ÁLVAREZ (2010), exponen que los fertilizantes fosforados se obtienen del tratamiento químico de la molienda fina de los fosfatos naturales. La producción de fertilizantes fosforados requiere partir de la roca fosfórica para obtener productos de una mayor disponibilidad de P para los cultivos.

También existen en el mercado rocas fosfóricas (RF) muy reactivas en el suelo, como la North Carolina y la roca fosfórica Arad acidulada con un consumo reducido. La efectividad de las rocas fosfóricas molidas aplicadas directamente al suelo depende, en primer lugar, de su reactividad. Las diferentes reactividades de las rocas fosfóricas están determinadas por el grado de saturación del carbono ( $\text{CO}_3^-$ ) por el anión fosfato ( $\text{PO}_4^-$ ) en la estructura de las apatitas.

En la Tabla N° 1, Se presentan los fertilizantes fosforados más utilizados.

**Tabla N° 1.** Fertilizantes fosforados más utilizados.

Clasificación	Fertilizante	Formula química	Solubilidad (%)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
			H <sub>2</sub> O	Citrato de amonio	
<b>Solubles</b>	Superfosfato	Ca (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sup>2</sup> + CaSO <sub>4</sub> x MgSO <sub>4</sub>	80		18
	Superfosfato triple	Ca (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	100		46
	Fosfato diamónico	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	100		46
	Fosfato mono amónico	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100		50
<b>Insolubles</b>	Roca fosfórica	NAxMgx(PO <sub>4</sub> )x(CO <sub>3</sub> )xF			
	North Carolina			7,8	30
	Huila			2,4	10

Fuente: Adaptado de Rodríguez, 1993 y Rodríguez et al 2010.

#### 4.13 RESPUESTA DEL EUCALIPTO A LA APLICACIÓN DE FÓSFORO

##### 4.13.1 Nutrición del eucalipto en Brasil y la aplicación de fósforo

NOVAIS et al. (1990), cuenta que la mayoría de los suelos plantados con eucaliptos en Brasil son deficientes en fósforo y tienen una alta capacidad de fijación de fósforo. El fertilizante de fosfato es obligatorio para todos los programas de reforestación. La estrategia para la aplicación de fósforo depende de la disponibilidad de fósforo en el suelo. Si el suelo tiene una alta disponibilidad de fósforo, la adición de una fuente soluble en el hoyo de plantación o en un surco en el momento de la siembra puede ser necesaria. Para suelos con baja

disponibilidad de fósforo o de alta capacidad de fijación de fósforo, la combinación de una fuente soluble con una fuente de menos soluble (Roca de fosfato, PR, o fosfatos parcialmente aciduladas, PAP) de difusión en bandas de 1-1,5 m de ancho o aplicado sobre la totalidad del área, puede ser más apropiado. La aplicación localizada de fósforo parece beneficiar a las plantas más jóvenes, cuando la demanda es alta.

LEAL et al. (1988), menciona que el fertilizantes Broadcast mantienen el suministro de fósforo a través de la rotación. En suelos arcillosos con alta capacidad de fijación de fósforo tales como en zonas de sabana, la aplicación de una combinación de fuentes solubles y menos solubles de fósforo a plantaciones de *Eucalyptus grandis* produjeron un aumento en el volumen de tallo de 87 % en comparación con la aplicación de la fuente soluble sola. DANTAS (1988); LEAL et al (1988), mencionan que rocas de fosfato son una buena fuente de fósforo y calcio para Eucaliptos; su solubilidad en el período de 2 - 5 años después de la incorporación en el suelo varía entre 20 y 50 %.

BARROS et al, (1996), señala que la acidez de los suelos de sabana y el requisito de eucaliptos para el fósforo y el calcio favorecen el uso de PR en los eucaliptos en pie. La calidad de la PR como un fertilizante de fósforo es comparable con, o superior a, la de superfosfato concentrado en muchas áreas. Por ejemplo, un turno de 2 años de edad, de *E. grandis* absorbió 15,2 kg de fósforo de PR o 15.1 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo del superfosfato concentrado, ambos de los cuales fueron difundidos e incorporados en la superficie de 20 cm del suelo. La cantidad recomendada de PR a añadir rangos de 1,0 a 1,5 t ha<sup>-1</sup>, de acuerdo a la textura del suelo. La cantidad puede reducirse a la mitad si el PR se aplica en tiras de 1,0 a 1,5 m de ancho. La incorporación de la fuente soluble de fósforo agregada al hoyo de plantación varía con la textura del suelo , si el suelo es arenoso , se añade aproximadamente 6 g de fósforo por las plantas mientras que si el suelo es arcilloso , se añade 10 g de fósforo.

Rocas de fosfato parcialmente aciduladas también se han utilizado en filas o tiras de 1,0 - 1,5 m de ancho, en cantidades que varían desde 300 hasta 450 kg ha<sup>-1</sup>. Su efecto inicial sobre el crecimiento del eucalipto ha sido mayor que la de PR. Sin embargo, las diferencias en el crecimiento debido a las variaciones en la fuente del fósforo desaparecen a medida que madura el bosque.

#### **4.13.2 Experiencias Realizadas en Colombia**

Existen pocas experiencias documentadas en Colombia sobre la fertilización forestal. BARRERA, (2012), destaca que en el departamento de Antioquia se han llevado a cabo algunas investigaciones de gran importancia para demostrar el efecto de fuentes y dosis de fósforo principalmente, sobre el incremento en altura y volumen de plantaciones forestales establecidas con pino ciprés y pátula.

Se inició con un ensayo establecido por Zöttl y Tschinkel en 1968. “Ensayo de fertilización en plantaciones adultas de ciprés en la Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas”; la zona de estudio presentaba suelos de tipo Andisoles, con horizontes de profundidad variable de ceniza volcánica, una altitud entre 1800 a 2.500 m, una precipitación promedio de 2.000 mm y períodos secos no extremos, es conocida por las deficiencias nutritivas reportadas en varios informes y publicaciones. A los 22 meses del ensayo se presentó un incremento (cca) de 19 m<sup>3</sup>/ha en la parcela fertilizada con NPKMg comparado con 5,7 m<sup>3</sup> en la parcela testigo. El crecimiento es insatisfactorio debido a unas claras deficiencias de nitrógeno y fósforo.

Seguidamente fue efectuado otro importante trabajo por parte de la empresa privada, en 1985, en el municipio de Yolombó, en plantaciones de *pino ocarpa*,

utilizando dosis de una fuente de fósforo de rápida solubilidad. El fertilizante utilizado fue 13-26-6. Se usó un testigo y dosis de 55 y 110 g/árbol del producto. En la evaluación a los 24 meses con la dosis de 110 g/árbol estos crecieron un 40% más que el testigo y la de 55 g. lo superó en 11%. Se destaca la importancia de una dosis adecuada de fósforo en el desarrollo de esta especie.

#### **4.13.3 Tipos de Fertilizantes Usados y Respuestas Obtenidas**

BARROS Y NOVAIS, (1996), expresan que la aplicación de fuentes de fósforo soluble e insoluble depende de la disponibilidad de elemento en el suelo. Por ejemplo, en suelos arcillosos, con alta capacidad de fijación del elemento, la aplicación de fuentes solubles y fuentes menos solubles como roca fosfatada, han presentado mayores incrementos volumétricos en *E. grandis* que la aplicación sola de fosfato soluble.

CORNEJO, (1982), expone que la falta de respuesta en aplicaciones de P en plantaciones recién establecidas de *Eucalyptus grandis* puede ser atribuido, según algunos investigadores, al uso de superfosfato, el cual contiene fósforo mono cálcico soluble en agua, un compuesto que se filtra rápidamente, y a la omisión de nitrógeno en los tratamientos.

SMETHURST & WANG, (1998), manifiestan que en un estudio con aplicaciones de fosfato diamónico, en *E. nitens* al establecimiento (Australia), se observó que el movimiento superficial o lateral del nutriente resultó ser muy lento y los niveles del nutriente bajan muy rápido al cabo de cuatro meses. En contraste con esto, el movimiento en profundidad del nutriente resultó ser más rápido y los niveles del nutriente fueron más altos. Se mantuvo un valor alto incluso pasados 18 y 42 meses después de la aplicación.

#### **4.14 VARIABLES DASOMÉTRICAS**

Las variables dasométricas se pueden entender como las diferentes estimaciones métricas del crecimiento de los árboles, como por ejemplo diámetro al cuello de la raíz, diámetro a la altura del pecho, la altura total, el volumen etc.

POZO, (2005), fundamenta que las variables dasométricas son indicadoras directas de cambios en la productividad de las plantaciones forestales. Los incrementos volumétricos dependen directamente de los incrementos de DAP, altura y área basal.

##### **4.14.1 Diámetro del Cuello de la Raíz (DCR) de una plántula**

FAO, (2004), describe que la medición del diámetro se efectúa con un calibrador (con una precisión mínima de 0,1 mm) a la altura del cuello de la raíz.

##### **4.14.2 Medición del Diámetro (DAP) de un árbol**

FAO, (2004), indica que el diámetro del árbol se mide con la corteza, a la altura del pecho, 1,3 m, sobre el terreno. La medición puede realizarse con la ayuda de una cinta diamétrica (cinta cuya unidad diamétrica está en centímetros) o con el uso de una forcípula.

#### **4.14.3 Medición de la Altura total (Ht) de un árbol**

FAO, (2004), relata que la medición de la altura de los árboles se realiza por medio de varios instrumentos, como: la tabla dendrométrica, Blume-Leiss, Suunto, Haga, el Relascopio Bitterlich, Vertex, vara telescópica.

#### **4.15 EVALUACIÓN DEL ESTADO NUTRICIONAL - ANÁLISIS FOLIAR**

JUDD et al., (1996), narra que las mayores concentraciones de todos los nutrientes se encuentran en el follaje, a excepción del calcio, que es mayor en la corteza.

APARICIO *et al.*, (2001), cuenta que esta secuencia de concentración hojas-corteza-ramas-madera ha sido reportada por diversos autores en *E. grandis*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. globulus*, *E. terenticornis* y *E. nitens*, donde se señala que la secuencia de macro elementos en la biomasa aérea se mantendría constante a través de las diferentes condiciones de suelo, clima y edad de la plantación.

VAN DEN DRIESSCHE, (1974), destaca que la gran proporción de análisis del tejido se hace en follaje, como uso común, se emplea el término "análisis foliar". Se ha declarado que la hoja es el punto focal del funcionamiento de muchas plantas y es un indicador relativamente sensible para esos elementos minerales que directamente afectan la fotosíntesis, además de ser una porción conveniente de la planta para probar. Normalmente, los síntomas del estado de salud son claramente visibles y el propósito del análisis foliar es determinar que nutriente se requiere para abreviar los síntomas causados.

CORNEJO, (1982), destaca que el análisis de tejido foliar y el de suelo, son dos técnicas usuales para un diagnóstico rápido de deficiencias y para predecir respuestas a la fertilización. El mismo autor indica que el análisis foliar es adecuado, porque el árbol es el que mejor integra los factores que afectan su estado nutricional y los resultados correlacionan mejor con el desarrollo y crecimiento y con respuestas a fertilización que el análisis de suelo.

#### **4.15.1 Niveles Foliare de Nutrientes en Especies del Género *Eucalyptus***

En la Tabla N° 2. Se muestran los rangos adecuados y deficientes establecidos por diferentes investigadores para la interpretación de análisis foliares en *Eucalyptus grandis*.



**Tabla N° 2.** Estándares nutricionales para interpretación de datos en análisis foliar de *Eucalyptus* según diferentes autores.

Elemento	Área adecuada			Área deficiente		
	Malavolta et al. (1977)	Silveira et al. (1998 Y 1999)	Dell et al. (1995)	Malavolta et al. (1977)	Silveira et al. (1998 Y 1999)	Dell et al. (1995)
<b>Macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>)</b>						
N	21-23	22-27	18-34	8-13	< 16	5-15
P	1,3-1,4	1,7-2,2	1-3	0,4-0,8	< 1,1	0,2-0,9
K	9-10	8,5-9,0	6-18	6-8	< 7,7	3-5
Ca	5-6	7,1-11	3-8	2-4	< 5,5	< 1
Mg	2,5-3	2,5-2,8	1-3	1,5-2	< 2,1	0,3-0,7
S	1,5-2,5	1,5-2,1	1,5-3	0,8-1,2	< 1,3	< 1
<b>Micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>)</b>						
B	25-30	34-44	15-27	15-20	< 21	5-8
Cu	7-10	6-7	2-11	4-6	< 4	0,4-1,5
Fe	100-140	65-125	25-130	75-100	-	10-14
Mn	300-400	200-840	60-2300	< 100	-	< 15
Zn	12-17	15-20	15-50	20-30	< 7	5-9

Fuente: Adaptado de Silveira et al. 2000 y Dell et al. 1995.

## 5 METODOLOGÍA

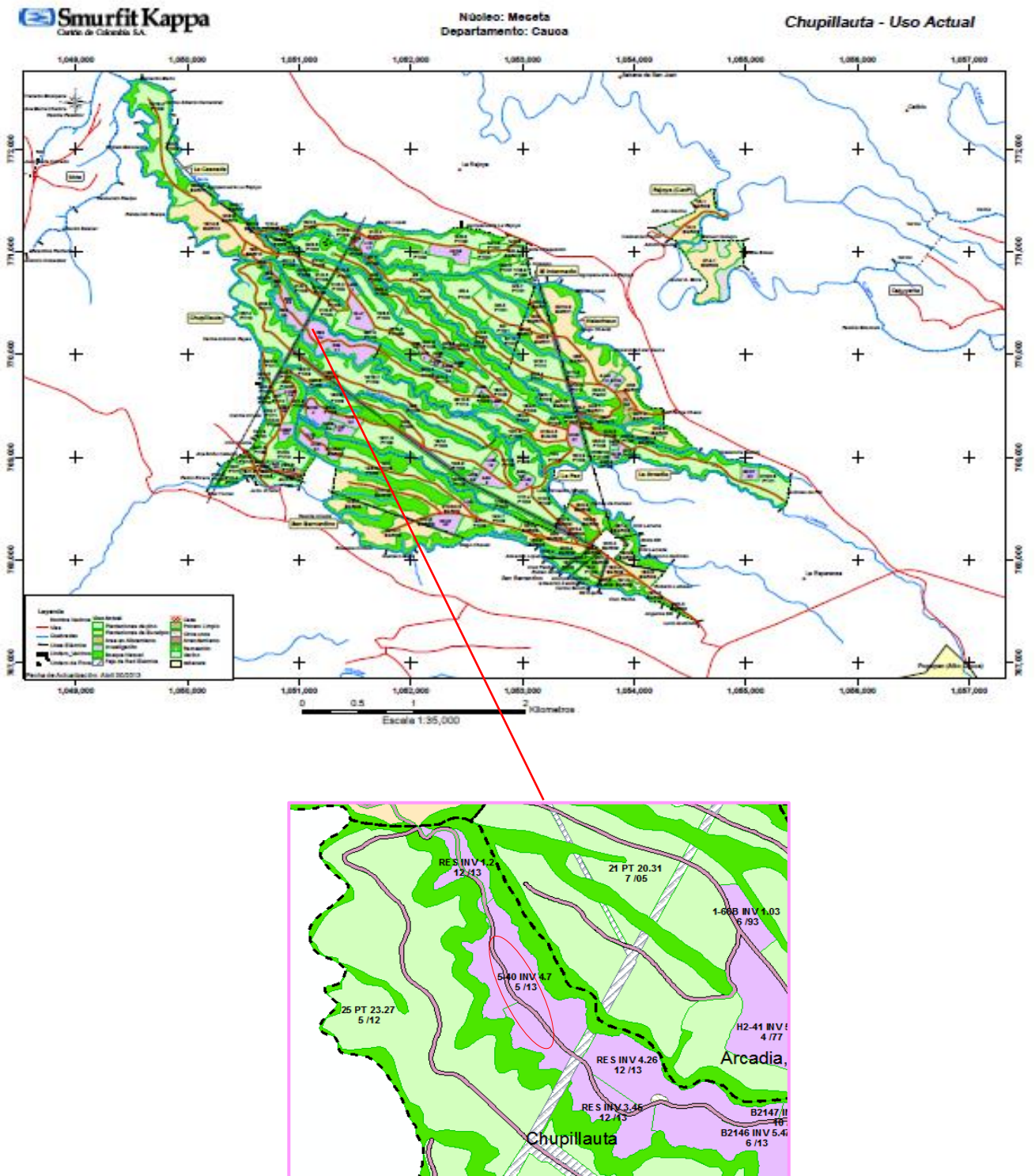
### 5.9 MATERIALES

#### 5.9.1 Selección del sitio

Se seleccionó uno de los lotes a plantar en el primer semestre de 2013 para *Eucalyptus grandis* en el proyecto forestal de Smurfit Kappa Cartón de Colombia. Se preseleccionaron algunas áreas en las tres zonas, las cuales fueron previamente visitadas en compañía de la ingeniera y el técnico de investigación para definir si reunían las mejores condiciones frente al desarrollo normal de los ensayos de investigación forestal y fue así como se definió que el lote de la finca Chupillauta, era el único que cumplía con las características deseadas.

#### 5.9.2 Ubicación del ensayo

El ensayo se encuentra ubicado en el municipio de Popayán, departamento del Cauca, Colombia (La ubicación se ilustra en la Figura N° 2). Quedando instalado en mayo de 2013, en subnucleo forestal Chupillauta, finca Chupillauta, lote 5-40, en una superficie de 4,7 hectáreas, de propiedad de la empresa Reforestadora Andina S.A.



**Figura N° 2** Ubicación del ensayo finca Chipillauta – Lote 5-40. Fuente: adaptado de (SKCC, 2013).

### **5.9.3 Condiciones Agroecológicas**

El estudio se encuentra localizado sobre la Cuenca hidrográfica de Palacé Robles Rio grande, a una Altura promedio sobre el nivel del mar de 1.737 metros, cuenta con una precipitación promedio anual de 2.180 mm, una temperatura promedio de 18 °C, y una pendiente promedio de 5,9%, conformando parte de la zona de vida Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM).

### **5.9.4 Características Edáficas**

La formación de los suelos de la región es derivada principalmente de cenizas volcánicas, provenientes de volcanes de la cordillera central, especialmente del Puracé, Sotará y Coconucos; constituyéndose en el principal material de origen de los suelos. Las principales propiedades físicas y químicas del suelo se describen en la Tabla N° 3.

**Tabla N° 3.** Propiedades físicas y químicas del suelo, finca Chupillauta.

Propiedad	Valores medios
Textura	Franco arcillo limosa
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,53
pH (1:2,5)	5
CIC disponible (cmol(+/-)kg <sup>-1</sup> )	31
CICE disponible (cmol(+/-)kg <sup>-1</sup> )	1,78
Materia orgánica (%)	22,2
N disponible (%)	0,71
P disponible (mg/kg <sup>-1</sup> )	3
K disponible (%)	3,36
S disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	3,6
B disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	0,2
K saturación (%)	3,36
Ca saturación (%)	0,0
Mg saturación (%)	5,61
Na saturación (%)	1,35
Al saturación (%)	89,69
Ca / K relaciones	-
Ca / Mg relaciones	-
Mg / K relaciones	1,67
(Ca+Mg) K relaciones	1,67

Fuente: Adaptado (SKCC, 2004)

Según investigaciones realizadas por SKCC (2004), en los suelos de la finca Chupillauta, la concentración de fósforo es muy baja, calificándose como totalmente deficiente en su forma mineral, el mayor contenido encontrado fue en el horizonte Ap fue de 3 mgkg<sup>-1</sup>. Es así como estos suelos son de una alta retención de fosfatos, superior al 92%, por lo tanto la fertilización fosfórica es de baja efectividad, su aplicación debe ser en forma localizada y con fuentes de lenta solubilidad.

### **5.9.5 Material vegetal**

Se empleó un clon de *Eucalyptus grandis*, producido por el vivero forestal Rancho grande, propiedad de Smurfit Kappa Cartón de Colombia.

### **5.9.6 Fertilizante**

Para la selección de los fertilizantes se tomó como referencia los diferentes estudios similares que ha realizado el departamento de investigación de la empresa, quien evalúa constantemente las necesidades y requerimientos para el manejo sustentable de las plantaciones forestales, ellos han encontrado que el fósforo y el nitrógeno son los elementos más limitantes para los sitios forestales y recientemente en un ensayo de omisión de nutrientes para diferentes sitios se encontró el fósforo como el mayor limitante y el no aplicarlo es equivalente a no aplicar nada en el sitio.

En el estudio se emplearon fertilizantes minerales que aportan fósforo, como el fosfato diamónico - DAP – 18-46-00 y el superfosfato triple – GRANUFOS - 40. Los productos se describen en la Tabla N° 4.

**Tabla N° 4.** Contenido de nutrientes para cada producto fosforado utilizado en la fertilización.

PRODUCTO	CONTENIDO DE FÓSFORO COMO P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FÓSFORO COMO P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> DE RÁPIDA ASIMILACIÓN	FÓSFORO COMO P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> DE LENTA ASIMILACIÓN	CONTENIDO DE AZUFRE S	CONTENIDO DE CALCIO C <sub>a</sub> O	CONTENIDO DE NITRÓGENO N
<b>Granufos 40 Superfosfato triple</b>	40%	33%	7%	3%	26.5%	0
<b>Dap 18-46-0 Fosfato diamónico</b>	46%	0	0	0	0	18%

Además de estos se utilizaron otros fertilizantes minerales esenciales para el desarrollo del eucalipto en su etapa inicial, los cuales fueron calculados, basados en la información suministrada por SKCC sobre el análisis de suelos para la finca y lote (Ver anexo 2) y los requerimientos nutricionales para el sitio y especie; estos aportan nitrógeno, potasio, boro y calcio. Los productos se describen en la Tabla N° 5.

**Tabla Nº 5.** Contenido de nutrientes para otros productos utilizados en la fertilización.

PRODUCTO	CONTENIDO DE NITRÓGENO N	AZUFRE SOLUBLE EN AGUA (S)	POTASIO SOLUBLE EN AGUA K <sub>2</sub> O	CLORURO CL	CARBONATO DE MAGNESIO	CARBONATO DE CALCIO	BORO
<b>Sulfato de amonio estándar 21-0-0-24 (S)</b>	21%	24%	0	0	0	0	0
<b>Urea 46-0-0</b>	46%	0	0	0	0	0	0
<b>Cloruro de potasio 0-0-60</b>	0	0	60%	54%	0	0	0
<b>K-Bor</b>	0	0	0	0	0	0	10%
<b>Cal Dolomita</b>	0	0	0	0	35%	57%	0

### 5.9.7 Herramientas y Equipos

En la elaboración del ensayo, se utilizaron Palines, azadones, machetes, bombas de espalda y de presión constante, baldes, cintas diamétricas, calibradores o pie de rey, varas telescópicas de medición, capturadores de datos, lápices de marcación permanente, pintura, cinta métrica (50 m), etiquetas, bolsas plásticas, software: SAS, Word y Excel.



## **5.10 MÉTODO**

### **5.10.1 Diseño Experimental**

Para el presente estudio se empleó un diseño experimental de bloques completamente aleatorizados, conformado por 4 bloques y 24 tratamientos, replicados en cada bloque, utilizando como factores las dosis de fósforo elemental y las frecuencias de aplicación.

Se usó el programa en SAS (versión 9.3) para generar los tratamientos al azar teniendo en cuenta el diseño estadístico.

### **5.10.2 Tratamientos**

Estos correspondieron a las veinticuatro combinaciones de tres dosis de fertilización con fósforo elemental, utilizando dos productos y cuatro frecuencias de aplicación. No se tuvo en cuenta un tratamiento testigo debido a que ensayos previos realizados por el departamento de investigación de Smurfit Kappa Cartón de Colombia, determinaron que no aplicar fósforo era equivalente a no aplicar nada en el sitio. Además colocar un tratamiento adicional hacia más grande el experimento lo que generaría considerar grandes áreas y más repeticiones en el sitio.

Para determinar las dosis de fertilización, se consideraron numerosas experiencias similares provenientes de Australia, Brasil y Sudáfrica (Ver anexo 1). De igual forma las experiencias obtenidas en los estudios del grupo de investigación de Smurfit Kappa Cartón de Colombia.

En la Tabla N° 6, se describen los tratamientos aplicados.

**Tabla N° 6.** Descripción de los tratamientos establecidos en el ensayo finca Chipillauta – Lote 5-40.

PLOT	BLO1	BLO2	BLO3	BLO4
1	15 dias_40_Granufos	Siembra_33_Granufos	Siembra_20_DAP	15 dias_40_Granufos
2	Siembra_20_Granufos	30 dias_20_DAP	Siembra_40_DAP	30 dias_20_Granufos
3	30 dias_20_Granufos	45 dias_33_DAP	30 dias_20_Granufos	30 dias_40_DAP
4	30 dias_20_DAP	15 dias_40_Granufos	15 dias_33_Granufos	45 dias_40_Granufos
5	30 dias_40_DAP	Siembra_40_Granufos	30 dias_40_Granufos	15 dias_33_Granufos
6	Siembra_40_Granufos	Siembra_33_DAP	Siembra_20_Granufos	30 dias_33_DAP
7	Siembra_33_Granufos	30 dias_40_Granufos	Siembra_40_Granufos	30 dias_20_DAP
8	30 dias_33_Granufos	15 dias_33_DAP	15 dias_40_DAP	Siembra_33_Granufos
9	45 dias_33_DAP	15 dias_20_DAP	45 dias_33_DAP	45 dias_20_DAP
10	15 dias_20_Granufos	Siembra_40_DAP	30 dias_33_Granufos	Siembra_20_Granufos
11	Siembra_40_DAP	15 dias_20_Granufos	30 dias_20_DAP	15 dias_33_DAP
12	45 dias_40_DAP	45 dias_20_DAP	45 dias_40_Granufos	45 dias_20_Granufos
13	15 dias_20_DAP	Siembra_20_DAP	30 dias_33_DAP	Siembra_20_DAP
14	30 dias_40_Granufos	45 dias_40_Granufos	15 dias_20_DAP	Siembra_40_DAP
15	Siembra_33_DAP	45 dias_20_Granufos	45 dias_20_DAP	15 dias_20_Granufos
16	15 dias_33_DAP	15 dias_40_DAP	15 dias_20_Granufos	45 dias_33_DAP
17	Siembra_20_DAP	30 dias_33_Granufos	15 dias_33_DAP	Siembra_40_Granufos
18	45 dias_20_Granufos	45 dias_40_DAP	30 dias_40_DAP	45 dias_33_Granufos
19	30 dias_33_DAP	45 dias_33_Granufos	Siembra_33_Granufos	15 dias_20_DAP
20	45 dias_33_Granufos	Siembra_20_Granufos	45 dias_20_Granufos	45 dias_40_DAP
21	15 dias_33_Granufos	15 dias_33_Granufos	45 dias_40_DAP	30 dias_33_Granufos
22	45 dias_40_Granufos	30 dias_40_DAP	45 dias_33_Granufos	30 dias_40_Granufos
23	15 dias_40_DAP	30 dias_20_Granufos	Siembra_33_DAP	15 dias_40_DAP
24	45 dias_20_DAP	30 dias_33_DAP	15 dias_40_Granufos	Siembra_33_DAP

### 5.10.3 Instalación del Ensayo

El ensayo se estableció en un arreglo de 4 bloques, 24 tratamientos por bloque, cada tratamiento estuvo representado por parcelas de 36 árboles de establecimiento y 16 árboles de medición. La distribución del ensayo se ilustra en la Figura N° 3.

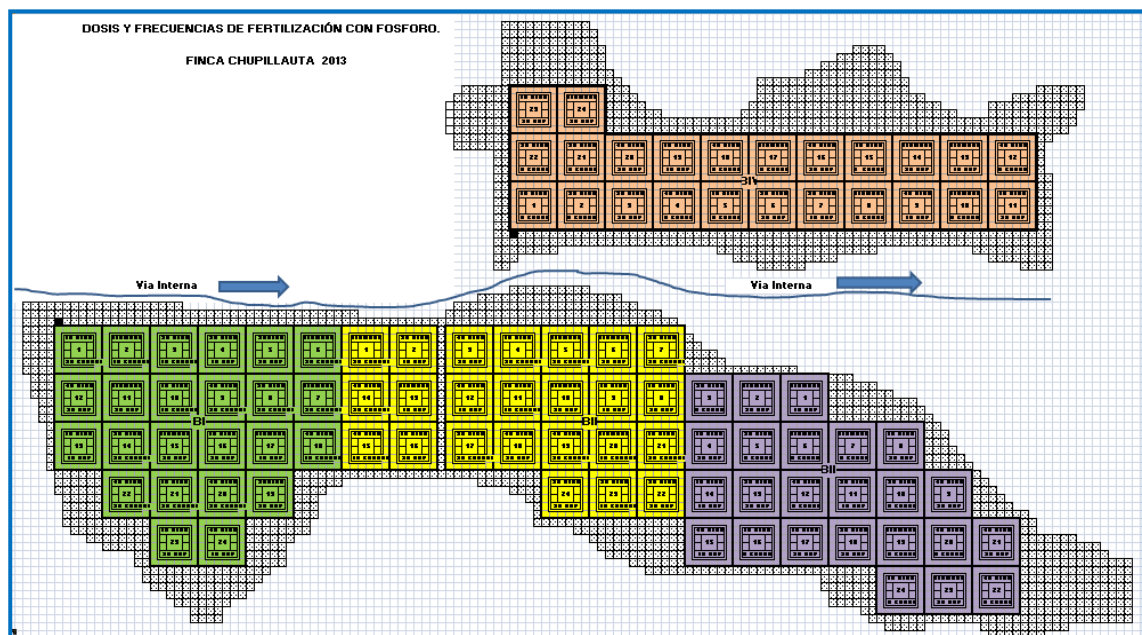


Figura N° 3. Organización del ensayo finca Chipillauta – Lote 5-40.

Para el establecimiento del estudio se ejecutaron labores como: construcción de cercas, trazado y marcación, hoyado, plateo, aplicación de herbicidas postemergentes y preemergentes y plantación.

## Construcción de Cercos

Se realizó un cerco con alambre de púas con el fin de evitar la entrada de semovientes o el paso de personas que puedan impedir el normal desarrollo de los árboles.

## Trazado y Marcación

Se demarcaron con estacas los sitios donde se hizo el paleta y hoyado, el espaciamiento fue de 3 m x 3m; se delimitaron con estacas los bloques del estudio, se colocaron estacas que marcan el inicio de los tratamientos dentro del bloque (tal como se presenta en las Fotografías N° 1,2). Se ubicó un mojón que identifica el estudio y que sirve como referencia para la ubicación dentro de él.



**Fotografías N° 1,2.** Delimitación de bloques y marcación de inicio de tratamientos.

## Hoyado y Plateo

En cada sitio trazado y marcado de plantación se hizo un hoyo repicado de 30 cm x 30 cm x 30 cm y un plato removiendo y quitando la vegetación en un área de un metro cuadrado, como se muestra en la fotografía N° 3.



**Fotografía N° 3.** Sitio marcado, plateado y hoyado.

### **Aplicación de Herbicida Postemergente**

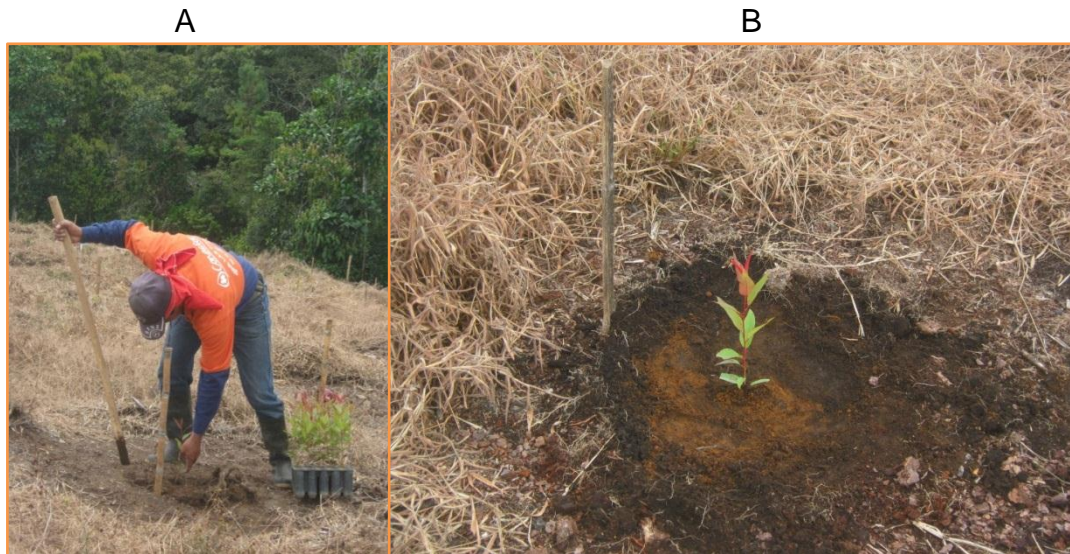
Se aplicó el herbicida sistémico Roundup, con el fin de controlar las malezas y facilitar la preparación del terreno donde se estableció la plantación.

### **Aplicación de Herbicida Preemergente**

Se aplicó el herbicida preemergente tiara, con el fin de impedir la germinación de las semillas de las malezas en cada uno de los sitio donde se estableció la plantación.

### **Plantación**

La siembra del estudio se realizó en mayo de 2013; En cada uno de los sitios preparados se efectuó la siembra utilizando como herramienta un palo o la estaca; con el pie se apisono la tierra alrededor de la plántula cuidando que el suelo quede nivelado y que la plántula quede cubierta máximo hasta 1 centímetro por encima del nivel del sustrato, como se muestra en las fotografías N° 4A, 4B.



Fotografías N° 4A, 4B. Siembra del estudio.

#### 5.10.4 Aplicación de Fertilizante

La aplicación de fertilizante se efectuó utilizando el sistema de aplicación en hoyo, realizando tres huecos a una distancia aproximada de 20 cm y una profundidad aproximada de 10 a 15 cm. Se manejaron diferentes fuentes de fertilizantes de acuerdo a los estudios de suelos y a las recomendaciones del departamento de investigación de Smurfit Kappa Cartón de Colombia.

La aplicación del fósforo y los demás nutrientes se realizó en las frecuencias de siembra, a los 15, 30 y 45 días y utilizando unas dosis de fósforo elemental de 20, 33 y 40 Kg.ha<sup>-1</sup>, para productos como el fosfato diamónico - DAP – 18-46-00 y el superfosfato triple – GRANUFOS. En la fotografía N° 5, se ilustra la realización de la fertilización en los tratamientos correspondientes a la frecuencia de siembra. La dosificación de fertilizantes según los tratamientos, la muestran las Tablas N° 7,8.



**Fotografía N° 5.** Fertilización al momento de la siembra.

**Tabla N° 7.** Dosis para tratamientos fertilizados con el producto DAP.

Dosis de DAP en kg.ha -1	Gramos de DAP aplicados por árbol	Gramos de otros fertilizantes aplicados por árbol
20	90	KCL: 21 SULFATO DE AMONIO: 56 CAL DOLOMITA: 455 K-BOR: 20
33	149	KCL: 21 SULFATO DE AMONIO: 56 CAL DOLOMITA: 455 K-BOR: 20
40	179	KCL: 21 SULFATO DE AMONIO: 56 CAL DOLOMITA: 455 K-BOR: 20

**Tabla Nº 8.** Dosis para tratamientos fertilizados con el producto GRANUFOS.

Dosis de granufos en Kg.ha <sup>-1</sup>	Gramos de granufos aplicados por árbol	Gramos de otros fertilizantes aplicados por árbol
20	103	UREA: 4 KCL: 21 SULFATO DE AMONIO: 43 CAL DOLOMITA: 455 K-BOR: 20
33	171	UREA: 4 KCL: 21 SULFATO DE AMONIO: 43 CAL DOLOMITA: 455 K-BOR: 20
40	206	UREA: 4 KCL: 21 SULFATO DE AMONIO: 43 CAL DOLOMITA: 455 K-BOR: 20

#### 5.10.5 Mantenimiento, Mediciones y Análisis foliar

Se efectuaron dos limpiezas de mantenimiento con herbicida sistémico, utilizando Roundup, con el fin de eliminar las competencias, además se efectuó el control de plagas como la hormiga arriera y el grillo utilizando el insecticida Lorsban.

En los meses de septiembre y noviembre de 2013, en cada parcela se realizaron a todos los árboles mediciones de variables dasométricas (Diámetro al cuello de raíz – DCR y altura total - Ht), se efectuaron a los 3 y 6 meses después de la siembra y se registró la información en el formato establecido para el estudio (Ver anexo 2).

La altura de las plantas se midió a partir del cuello del tallo hasta el ápice, esto se realizó utilizando la vara telescópica de medición, como lo muestra la **Figura Nº 4**.





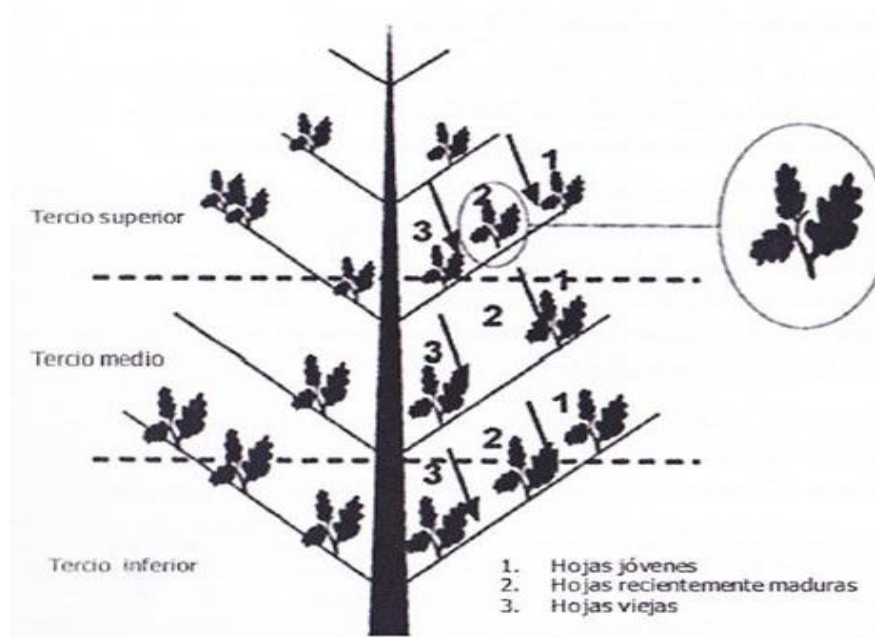
**Figura N° 4.** Medición de la altura de los árboles e instrumento utilizado para mediciones.

El diámetro al cuello de la raíz de las plantas se midió con la ayuda de un calibrador pie de rey. El dato fue tomado en la base del tallo; como lo muestra la Figura N° 5.



**Figura N° 5.** Medición del diámetro al cuello de la raíz e instrumento utilizado para mediciones.

En noviembre de 2013, cuando las plantas tenían seis meses, se tomaron muestras para la determinación de un análisis químico foliar por tratamiento (Ver anexo 10). Las muestras fueron colectadas del tercio superior de la copa, tal como se presenta en la Figura N° 6, para así colectar las que pertenecían al último periodo de crecimiento. Se tomaron 20 hojas/árbol a cinco árboles por tratamiento, enviadas oportunamente al laboratorio para su análisis. Los análisis químicos fueron realizados en el laboratorio Waters Agricultural Laboratories, Inc. Camilla, Georgia USA, para los elementos N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, B, Cu, y Zn.



**Figura N° 6.** Esquema de la división en altura de Eucaliptos (tercios) y de los tipos de hojas según su edad en las ramas de los distintos tercios considerados en el muestreo para el análisis foliar. Fuente: RODRÍGUEZ, ÁLVAREZ, 2010.

ZAPATA, (2013), expresa que la tasa de crecimiento ideal para el *Eucalyptus grandis* en el primer año de edad con la que trabaja Smurfit Kappa Cartón de Colombia es un rodal con buen manejo silvícola en promedio debe tener 7 metros en altura y 12 cm de diámetro para sitios de alta productividad y 6 metros en altura y 10,5 cm de diámetro para sitios de media productividad.

### **5.10.6 Análisis Estadístico**

Se efectuaron diferentes tipos de análisis estadísticos descriptivos, entre ellos la media, desviación estándar y coeficiente de variación (Ver anexo 7). Además se generó una comparación de medias mediante el modelo lineal generalizado con una prueba de Duncan al 95% para las variables altura y diámetro explicando resultados por tipo de producto y tratamiento (Ver anexos 5 y 6).

Para el desarrollo de la evaluación y comparación del nutriente fósforo a nivel foliar, por tratamiento, se tomó como base los resultados del análisis foliar (ver tabla 10). A Los cuales se les efectuó el Análisis de estadístico descriptivo para obtener valores como media, desviación estándar y coeficiente de variación. Se generó la comparación entre tratamientos de los niveles de concentración de nutrientes ofrecidos como óptimos y deficientes (DELL et al, 1995).

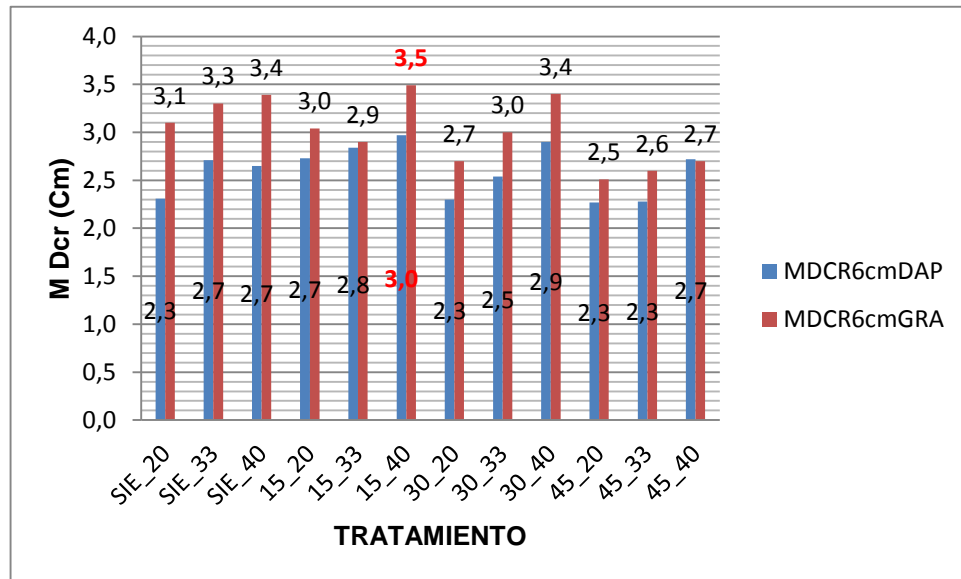
## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron las diferencias entre los tratamientos para las variables diámetro al cuello de raíz - DCR, altura total - Ht y concentración de nutrientes en el follaje. Se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan ( $P < 0.05$ ) para el análisis de la información ya que esta es la recomendable para probar todas las diferencias posibles entre medias de los tratamientos del experimento y, además, es muy usual cuando el número de repeticiones es igual en cada tratamiento.

### 6.1 Variable Diámetro al Cuello de Raíz – DCR

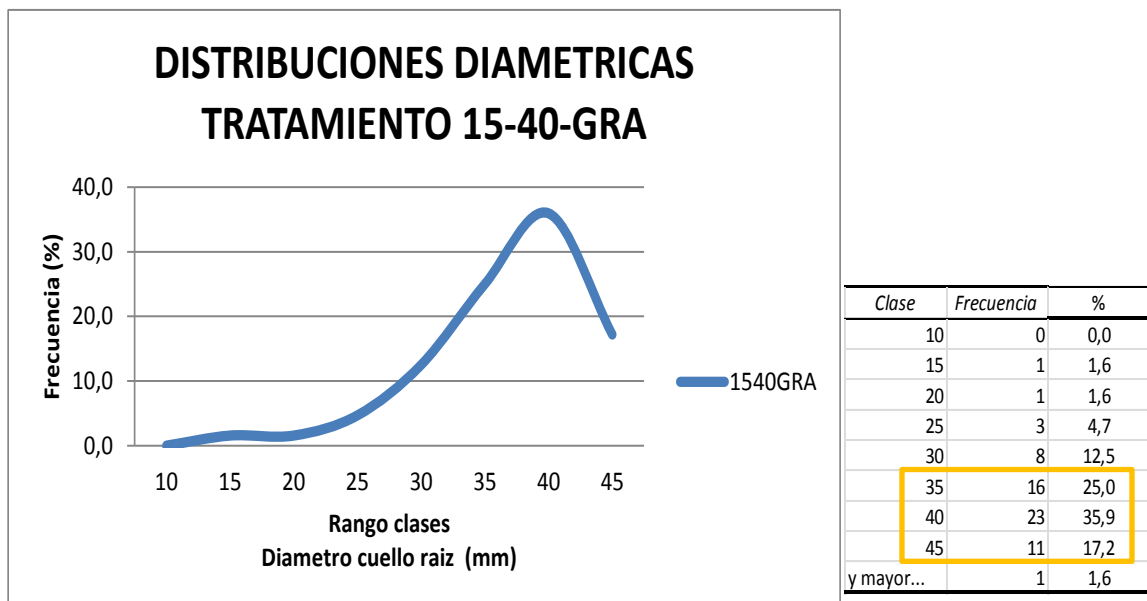
Para esta variable se efectuó la comparación de medias mediante el modelo lineal generalizado con prueba de Duncan, la cual explica que el tratamiento y el producto son significativos al 95%. Comparando los productos aplicados frente a los incrementos diamétricos, se encontró que existen diferencias entre dosis y producto utilizado, que el mejor producto es el granufos y el mejor tratamiento fue el 15-40-GRA (aplicación a los 15 días de una dosis de  $40 \text{ kg.ha}^{-1}$  de granufos), (Ver anexo 5).

La Grafica N° 1, muestra las medias de los DCR por producto y tratamiento, donde los mayores valores diamétricos se obtuvieron con el fertilizante fosforado Granufos y el mejor tratamiento fue el (15-40).



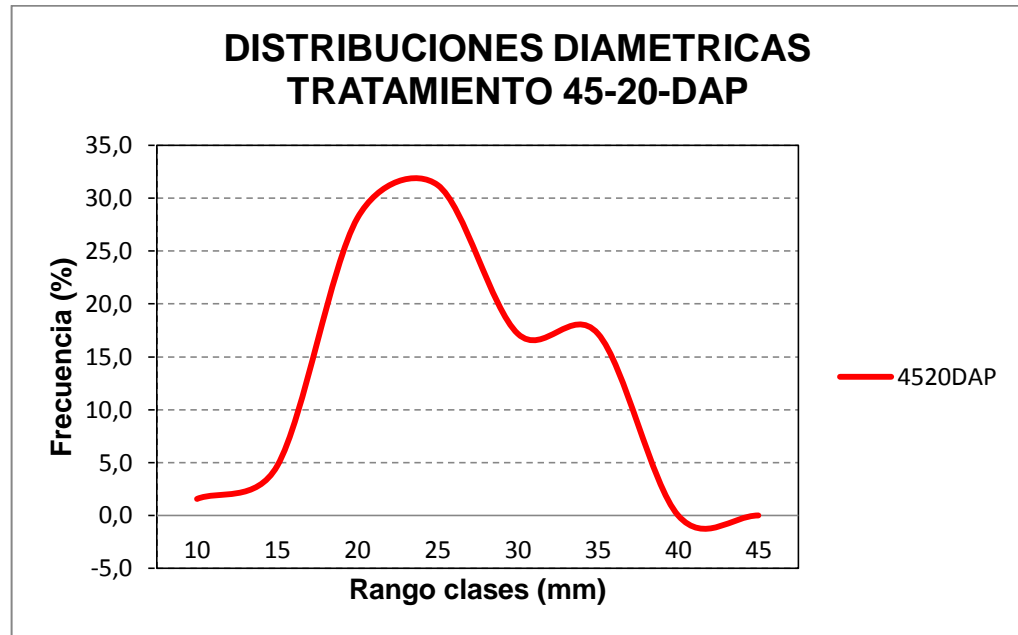
**Grafica Nº 1.** Medias de los diámetros al cuello de la raíz por producto y tratamiento.

La Grafica Nº 2, muestra la distribución diamétrica del mejor tratamiento (15-40-GRA), donde el 78,1% de los diámetros estaba entre 35 y 40 mm.



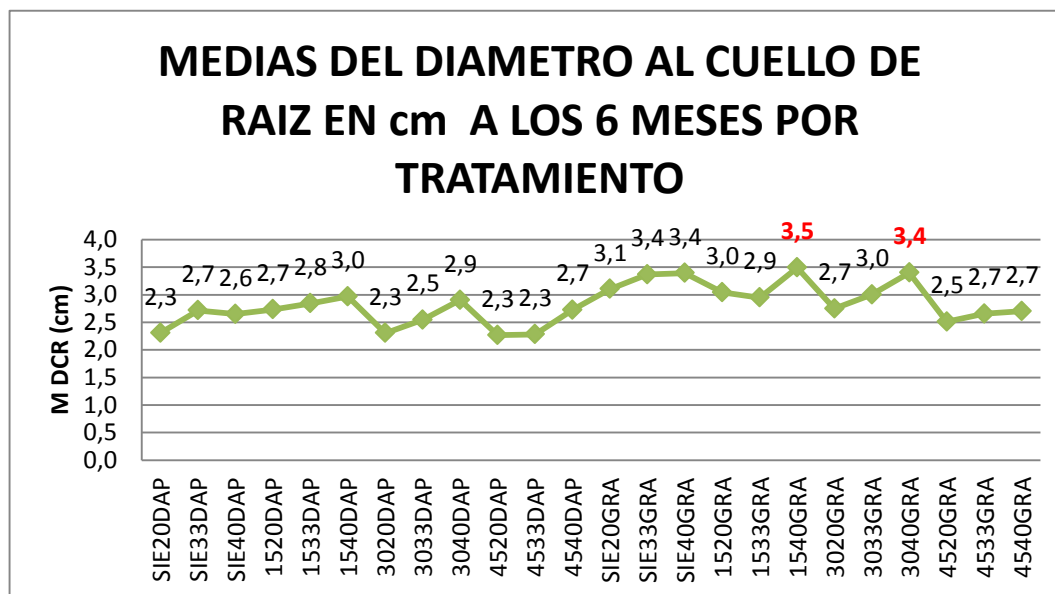
**Grafica Nº 2.** Distribución diamétrica del mejor tratamiento (15-40-GRA).

La Grafica N° 3, muestra la distribución diamétrica del más bajo tratamiento (45-20-DAP), donde el 93,8% de los diámetros estaba entre 20 y 35 mm.



**Grafica N° 3.** Distribución diamétrica del más bajo tratamiento (45-20-DAP).

La Grafica N° 4, muestra las medias del diámetro al cuello de raíz por tratamiento, donde se puede observar que los tratamientos 15-40-GRA y 30-40-GRA tienen unas medias similares en cuanto a incrementos diamétricos. Sin embargo se nota que el tratamiento (15-40-GRA) tuvo mayor diámetro con 3,5 cm. Esto estaría indicando cierta tendencia a responder favorablemente a las aplicaciones de la dosis de 40 kg.ha<sup>-1</sup> de granufos.

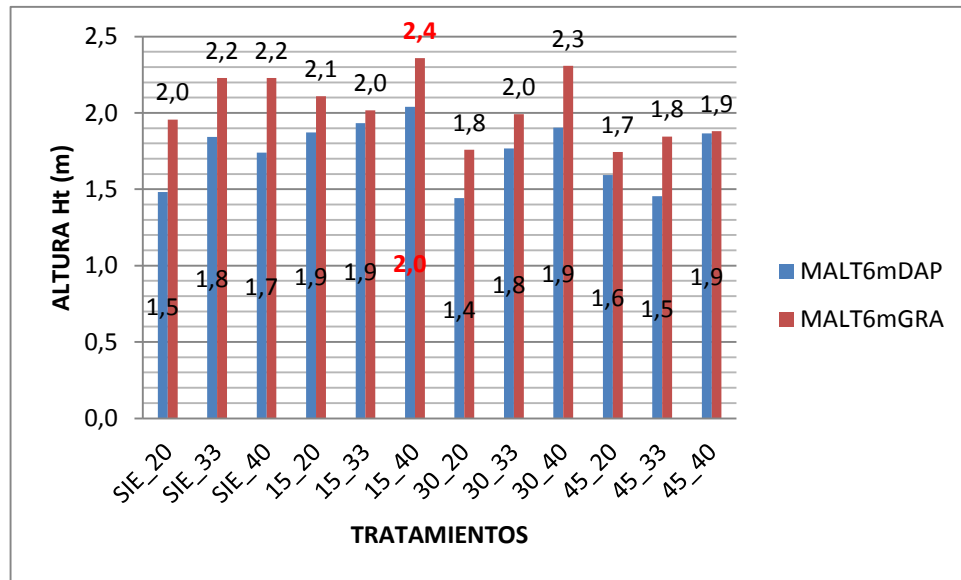


**Grafica N° 4.** Medias del diámetro al cuello de raíz por tratamiento.

## 6.2 Variable Altura Total - Ht

Al igual que para el DCR, para esta variable se efectuó la comparación de medias mediante la prueba de Duncan, la cual arrojo el resultado de que el tratamiento y el producto son significativos al 95%. Cuando comparamos los productos aplicados frente a los incrementos en altura, encontramos que existen diferencias entre dosis y producto utilizado, que el mejor producto sigue siendo el granufos y el mejor tratamiento el 15-40-GRA (aplicación a los 15 días una dosis de 40 kg.ha<sup>-1</sup> de granufos), (Ver anexo 6).

La Grafica N° 5, muestra las medias de las alturas por producto y tratamiento, donde los mayores valores de altura se obtuvieron con el producto Granufos y el mejor tratamiento (15-40).



**Grafica N° 5.** Medias de las alturas por producto y tratamiento.

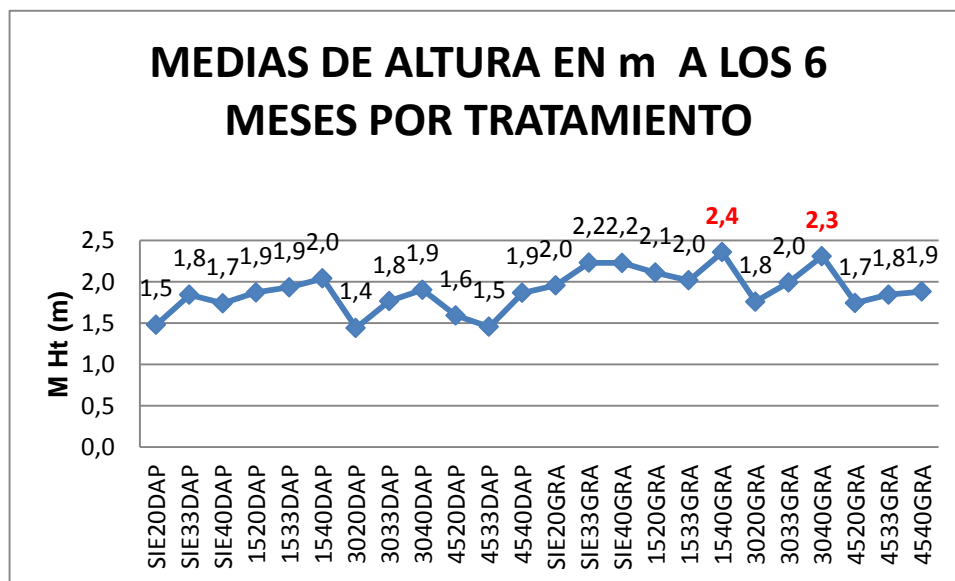
En las Fotografías N° 6,7, se pueden observar las desigualdades marcadas en altura entre los árboles de los diferentes tratamientos, a la izquierda observamos un árbol aplicado con el tratamiento 15-40-GRA y a la derecha un árbol aplicado con el tratamiento 45-20-DAP; Apreciándose que la mayor altura la presenta el árbol de la izquierda aplicado con el producto Granufos. (Ver figura 6).





**Fotografías N° 6,7.** Contraste en altura entre los árboles de los diferentes tratamientos.

La altura promedio observada en el tratamiento de dosis 15-40-GRA fue de 2,4 m y en el tratamiento de dosis 30-40-GRA fue de 2,3 m, se puede apreciar que son muy similares en cuanto a incrementos de altura. Esto indica cierta tendencia a responder favorablemente a las aplicaciones de la dosis de 40 kg.ha<sup>-1</sup> de granufos. (Ver Grafica N° 6).



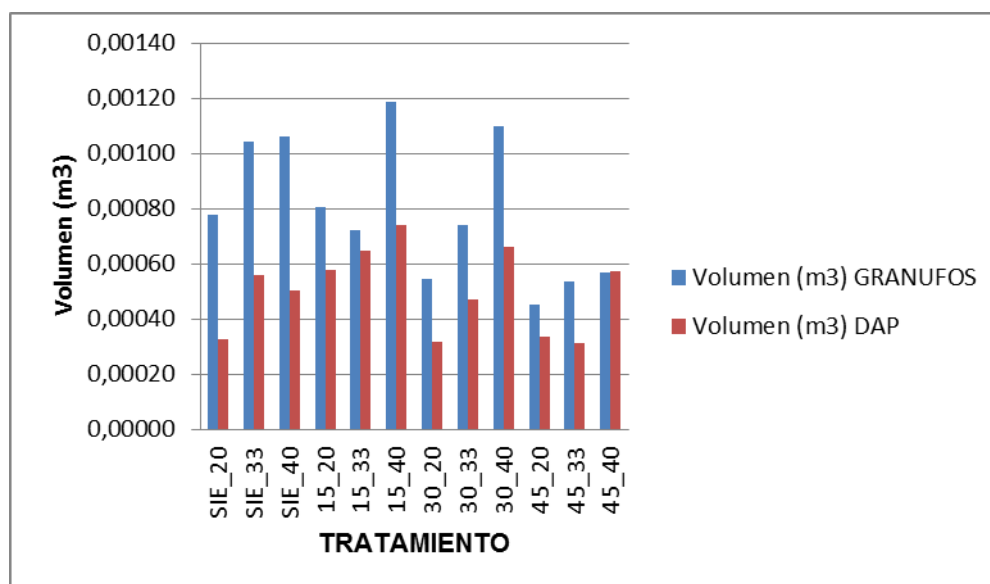
**Grafica N° 6.** Medias de la altura por tratamiento.

Al hacer el análisis de los resultados sobre las diferencias en el crecimiento de los árboles entre los tratamientos aplicados encontramos que:

- Cuando comparamos los productos mediante la agrupación de Duncan observamos que el Granufos es el mejor, para las variables Diámetro al cuello de la raíz - DCR y altura total – Ht.
- En cuanto al incremento en Diámetro al cuello de la raíz y Altura, el tratamiento que presento los mayores valores fue el 15-40 (aplicado con GRANUFOS un Dcr 3,5 cm y Ht 2,4 m, con DAP un Dcr 3,0 cm y Ht 2,0 m), seguido por el tratamiento 30-40 (aplicado con GRANUFOS un Dcr 3,4 cm y Ht 2,3 m, con DAP un Dcr 2,9 cm y Ht 1,9 m) y terminando con los valores más bajos para el tratamiento 45-20 (aplicado con GRANUFOS un Dcr 2,5 cm y Ht 1,7 m, con DAP un Dcr 2,3 cm y Ht 1,6 m).

- Después de treinta días de establecida una plantación de *Eucalytus grandis*, la aplicación de fertilizantes fosforados, presenta respuestas negativas en cuanto a crecimiento en diámetro al cuello de la raíz y altura. Situación que se asemeja a experiencias realizadas en Sudáfrica con *E. grandis* (CORNEJO, 1982).
- El estudio no se planeó para medir área foliar, sin embargo las mayores diferencias a esta edad se notan en esta variable, y conociendo la importancia del P y su interacción con el N para el desarrollo, se podría plantear una gran importancia en la medición de esta variable en futuras investigaciones; y así detectar variaciones más sensibles entre tratamientos.

Al efectuar el análisis de los resultados sobre la productividad en volumen  $m^3$  por tratamiento encontramos que los mayores resultados se obtienen con el producto GRANUFOS, como lo muestra la Grafica N° 7.



**Grafica N° 7.** Medias del volumen ( $m^3$ ) a los 6 meses por tratamiento

Si analizamos los costos de cada producto y la empresa productora y comercializadora encontramos que:

- El DAP es producido y comercializado por una multinacional extranjera (CIAMSA), a un costo aprox de \$68.300, bulto de 50 kg.
- El GRANUFOS es producido y comercializado por una empresa colombiana (PQP – Productos químicos panamericanos S.A), con sede en Medellín, a un costo aprox de \$50.000, bulto de 50 kg.

### 6.3 Resultados a Nivel Foliar

#### 6.3.1 Concentración de Nutrientes a Nivel Foliar

El nivel de nutrientes foliares fue comparado con los de referencia obtenidos de la bibliografía (Tabla N° 9).

**Tabla N° 9.** Estándares nutricionales para interpretación de datos en análisis foliar en *Eucaliptus* (1 a 2 años de edad).

	Área adecuada	Área deficiente
<b>Elemento</b>	<b>Dell et al. (1995)</b>	<b>Dell et al. (1995)</b>
<b>Macronutrientes (g kg – 1)</b>		
<b>N</b>	1,8-3,4	0,5-1,5
<b>P</b>	0,1-0,3	0,02-0,09
<b>K</b>	0,6-1,8	0,3-0,5
<b>Ca</b>	0,3-0,8	< 0,1
<b>Mg</b>	0,1-0,3	0,03-0,07
<b>S</b>	0,15-0,3	< 0,1

Micronutrientes (mg kg - 1)		
<b>B</b>	15-27	5-8
<b>Cu</b>	2-11	0,4-1,5
<b>Fe</b>	25-130	10-14
<b>Mn</b>	60-2300	< 15
<b>Zn</b>	15-50	5-9

Fuente: Dell et al. 1995

**Tabla N° 10.** Concentración foliar de nutrientes Estudio 5– 40, finca Chupillauta.

Tratamiento	CANTIDAD DE NUTRIENTES A NIVEL FOLIAR										
	mN	mP	mK	mMg	mCa	mS	mB	mZn	mMn	mFe	mCu
	%						Ppm				
1520DAP	3,0	0,11	1,4	0,22	0,8	0,2	50,3	33,0	1.376,3	76,3	10,8
1520GRA	3,0	0,12	1,5	0,23	0,9	0,2	47,0	35,0	1.548,5	71,3	10,8
1533DAP	3,0	0,12	1,4	0,23	0,8	0,2	54,8	29,0	1.336,5	72,5	9,5
1533GRA	2,9	0,12	1,4	0,22	0,9	0,2	37,5	34,0	1.265,0	77,8	7,3
1540DAP	2,9	0,12	1,4	0,22	0,8	0,2	36,3	31,5	1.198,0	72,5	11,3
1540GRA	2,8	0,11	1,3	0,21	0,9	0,2	39,0	27,5	1.619,8	80,3	9,5
3020DAP	2,9	0,11	1,4	0,22	0,8	0,2	54,0	27,8	1.201,8	68,5	9,0
3020GRA	2,9	0,09	1,4	0,19	0,8	0,2	57,0	31,8	1.124,5	104,5	13,5
3033DAP	2,9	0,10	1,5	0,21	0,8	0,2	57,3	29,8	1.194,5	73,0	8,5
3033GRA	3,0	0,12	1,4	0,21	0,8	0,2	46,5	31,3	1.109,0	73,3	12,5
3040DAP	2,9	0,10	1,3	0,22	0,9	0,2	39,3	27,8	1.174,8	69,0	11,3
3040GRA	3,0	0,11	1,4	0,21	1,0	0,2	43,3	29,5	1.220,5	72,0	8,5
4520DAP	2,9	0,11	1,4	0,21	0,8	0,2	40,0	30,3	1.205,5	71,3	10,8
4520GRA	3,1	0,11	1,5	0,22	0,8	0,2	48,5	30,8	1.310,3	71,3	9,8
4533DAP	3,0	0,11	1,4	0,22	1,0	0,2	49,0	34,8	1.524,3	74,3	9,0
4533GRA	3,0	0,11	1,3	0,19	0,8	0,2	40,5	29,5	914,8	80,3	9,5
4540DAP	2,9	0,11	1,4	0,23	1,0	0,2	43,8	30,5	1.299,3	77,0	7,5
4540GRA	2,9	0,11	1,2	0,20	0,9	0,2	47,0	28,3	885,3	77,8	9,0
SIE20DAP	2,9	0,11	1,6	0,20	0,9	0,2	54,0	30,5	1.254,8	69,5	10,3
SIE20GRA	2,7	0,09	1,4	0,18	0,8	0,2	63,0	28,5	881,8	71,3	8,0
SIE33DAP	3,0	0,11	1,5	0,23	0,8	0,2	48,8	30,8	1.289,5	75,0	12,0
SIE33GRA	3,0	0,12	1,3	0,22	0,9	0,2	53,8	29,3	1.400,0	74,3	9,3
SIE40DAP	2,7	0,11	1,3	0,21	0,8	0,2	50,3	28,5	1.008,0	69,3	11,5
SIE40GRA	3,1	0,11	1,4	0,22	0,8	0,2	42,0	29,3	1.502,8	73,5	13,0

Fuente: Waters Agricultural Laboratories

Al comparar los niveles de nutrientes del análisis foliar por tratamiento (Tabla N° 10), con los óptimos establecidos como referencia (Tabla N° 9), se puede analizar que los tratamientos que presentan en promedio los mayores valores de concentración de nutrientes para casi todos los elementos, son los aplicados con el producto Granufos, a excepción del tratamiento 45-40-GRA, que obtuvo el valor más bajo para el elemento K (1,2%).

En términos generales casi todos los tratamientos se encuentran en promedio dentro de los rangos adecuados para los elementos macro y micro nutrientes, a excepción de los tratamientos SIE-20-GRA y 30-20-GRA que presentaron valor deficiente para el elemento P.

Finalmente se calculó el porcentaje de desviación con respecto al óptimo del Macronutriente P (el cual es 0,12%), utilizando la fórmula del porcentaje de desviación con respecto al óptimo DOPx (BRANAS, 2000).

$$DOPx = [Cx / Cref - 1] * 100$$

Sin embargo, es posible utilizar la siguiente fórmula simplificada, que calcula el porcentaje de nutriente x respecto al óptimo, para ilustrar los elementos nutritivos que se alejan más del óptimo:

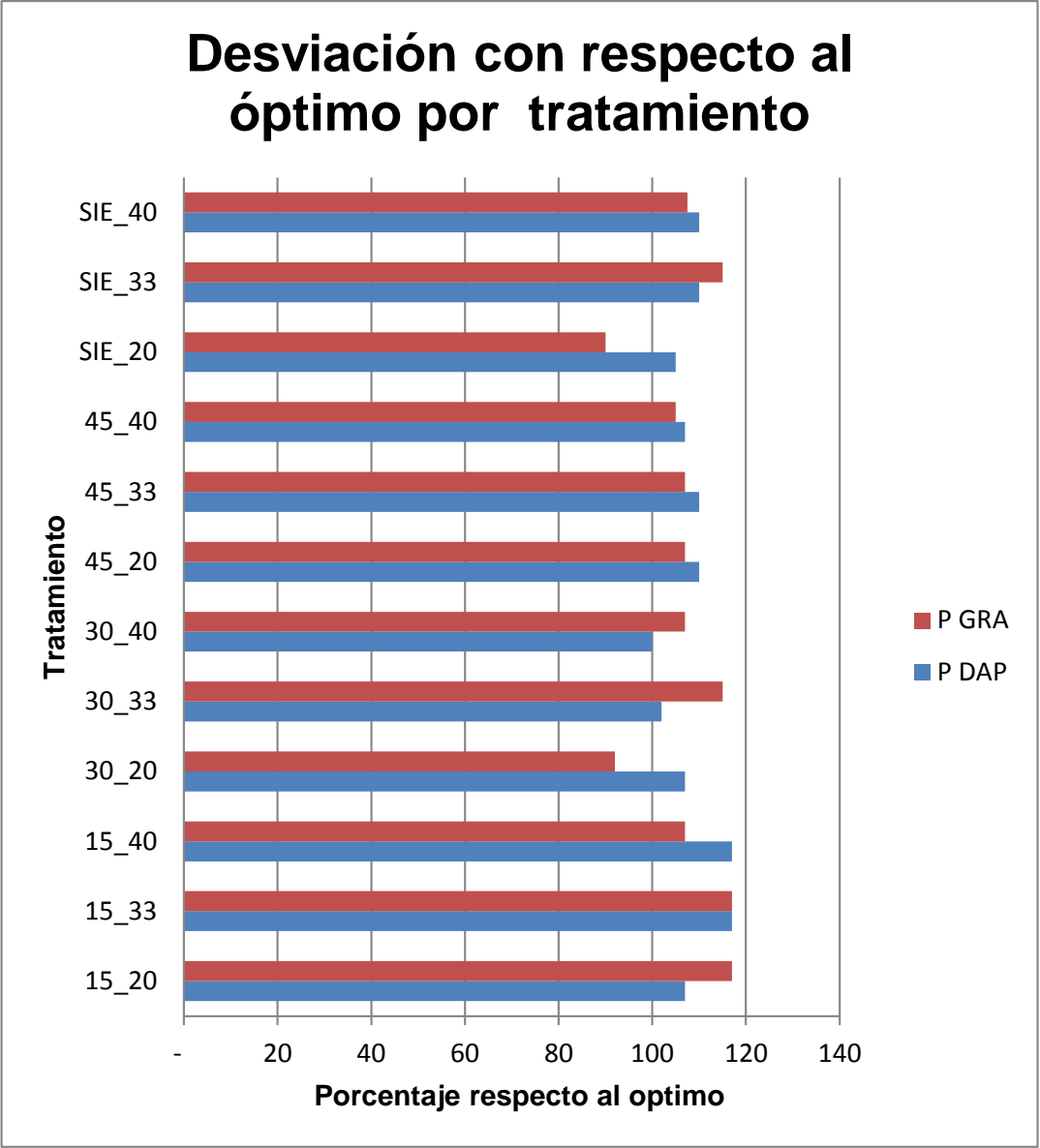
$$OPx = [Cx / Cref] * 100$$

Dónde:

Cx: Concentración del elemento x obtenida.

Cref: Concentraciones consideradas como óptimas

La Gráfica N° 8, presenta un buen nivel general del nutriente P, encontrándose en casi todos los tratamientos sobre los niveles óptimos, a excepción de SIE-20-GRA y 30-20-GRA que presentaron valor por debajo del óptimo.



**Grafica Nº 8.** Desviación con respecto al óptimo por tratamiento para el elemento fósforo.

## 6 CONCLUSIONES

Después de efectuada la fertilización fosforada al establecimiento en un cultivo de *Eucalytus grandis* en la meseta de Popayán empleando productos como el DAP y el Granufos en diferentes dosis y frecuencias de aplicación, se obtuvieron las siguientes conclusiones a los seis meses de edad de la plantación:

- Los tratamientos aplicados con GRANUFOS, obtuvieron los mejores resultados en cuanto a crecimiento de los árboles (Diámetro al cuello de la raíz y altura).
- La aplicación a los 15 días después de la siembra de una dosis de 40 kg.ha<sup>-1</sup> (206 g de GRANUFOS por árbol), fue la que obtuvo los mejores resultados.
- Los tratamientos que presentaron el valor deficiente para el elemento fosforo fueron SIE-20-GRA (con 0,09%) y 30-20-GRA (con 0,09%).



## 7 RECOMENDACIONES

- Seguir fomentando estas investigaciones por parte de la UNAD y SKCC, ya que estas generan nuevos conocimientos y fortalecen la comunidad científica.
- Replicar este ensayo de campo en las zonas norte y centro del proyecto forestal, empleando una dosis de 60 kg.ha<sup>-1</sup>, ya que según los resultados obtenidos a mayor dosis mejores son los resultados en cuanto a crecimiento inicial de los árboles y así poder tener mayor información de referencia en cuanto a la mejor dosis de fertilización fosforada en el establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus grandis*, la cual le servirá de soporte al proceso de investigación de Smurfit Kappa Cartón de Colombia para las prescripciones de aplicación de fertilizantes fosforados.
- Continuar esta investigación de fertilización fosforada al establecimiento del *Eucalyptus grandis*, con la finalidad de obtener los parámetros de evaluaciones al año para determinar si el efecto de la fertilización continúa con la misma tendencia.
- Realizar una investigación tomando en cuenta diferentes métodos de aplicación de fertilizantes fosforados (en hoyo, en bandas, en corona, en semicorona), para determinar con que método las plantas asimilan de una mejor manera los nutrientes para contribuir a que se forme rápidamente la masa forestal.
- Realizar un ensayo de campo con hongos Micorrizas (arbusculares) para establecer qué tan determinantes son en la asimilación del fósforo, en una fertilización fosforada al establecimiento del *Eucalyptus grandis*.

- Efectuar un ensayo de campo para evaluar el efecto de una fertilización fosforada al establecimiento del *Eucalyptus grandis*, empleando la combinación de fuentes solubles con menos solubles.
  
- Ejecutar mediciones de área foliar para determinar diferencias más sensibles en árboles jóvenes.
  
- Realizar un estudio sobre el comportamiento del sistema radicular del *Eucalyptus grandis* para determinar la mejor distancia de aplicación de fertilizantes fosforados con respecto a la raíz y al fuste de los árboles.

## REFERENCIAS

### **Artículo publicado:**

LEAL, P.G.L, BARROS, N. F, NOVAIS, R.F, NEVES, J.C.L, and TEIXEIRA, J.L. (1988). Produção de biomassa e conteúdo de nutrientes em *Eucalyptus grandis* influenciados pela aplicação de fosfato natural em solos de cerrado. Revista Arvore 12, 165-182.

### **Artículo no publicado:**

SMURFIT KAPPA CARTÓN DE COLOMBIA. 2013. Proyecto forestal, resumen plan de manejo 2013 - 2017. Puerto Isaac, Yumbo. Colombia. (Informe técnico).

SMURFIT KAPPA CARTÓN DE COLOMBIA, COESAGRO. 2004. Estudio semidetallado de suelos, núcleo meseta. Municipio de Popayán, Cauca. Colombia. (Informe técnico).

ZAPATA, M. 2013. Monitoreo de plantaciones juveniles de *Eucalyptus*. Smurfit Kappa Cartón de Colombia. Puerto Isaac, Yumbo. Colombia. (Informe técnico).

### **Publicación Seriada:**

OSPINA, C; HERNÁNDEZ, R; RODAS, C; URREGO, J; GODOY, J; ARISTIZÁBAL, F; OSORIO, Ó; RIAÑO, N. 2006. El Eucalipto. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la

zona andina colombiana. E I Federación nacional de cafeteros - CENICAFE. Blaneacolor Ltda. 53p. [ISBN: 95897441-7-6].

**Libro:**

DEL VALLE, Jorge. 1972. Introducción a la Dendrología de Colombia, Medellín, Universidad Nacional de Colombia. Centro de Publicaciones. 351 p. [OCLC 7055629].

EPSTEIN, E. 1972. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. London, New York: John Wiley & Sons. 412 p.

RODRÍGUEZ, J; ÁLVAREZ, J. 2010. Nutrición y fertilización de las plantaciones forestales. Gráfica LOM, Miguel de Atero 2888. Santiago de Chile. 521 p. [ISBN: 978-956-332-611-6].

RODRÍGUEZ, J. 1991. Manual de fertilización. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. Alfabeta impresores. 362 p.

**Libro editado:**

MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2. Ed. London, New York: Academic Press. 889 p.

**Capítulo de libro:**

BARROS, N.F Y NOVAIS, R.F. 1996. Eucalypt Nutrition and Fertilizer Regimes in Brazil. In: Nutrition of *Eucalyptus*, pp. 335 – 355. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.

BENNETT, L. T., WESTON, C. J. and ATTIWILL, P. M. (1997). Biomass, nutrient content and growth response to fertilizers of six-year-old *Eucalyptus globulus* plantations at three contrasting sites in Gippsland, Victoria. *Australian Journal of Botany* 45, 103-121.

DELL, B. 1996. Diagnosis of nutrient deficiencies in Eucalypts. In: Attiwill, P.M. & Adams, M.A. (Eds.). *Nutrition of Eucalypts*, Collingwood, CSIRO Publishing. P.417-40.

JUDD T. S., ATTIWILL, P. M., ADAMS, M. A. 1996. Nutrient concentrations in *Eucalyptus*: A synthesis in relation to differences between taxa, sites and components. In: *Nutrition of Eucalyptus*, pp. 123 – 153. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.

MC LAUGHLIN, M. J. 1996. Phosphorus in Australian forest soils. In: *Nutrition Eucalyptus*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia pp. 1 – 30.

PEREIRA, J.S; TOMÉ, M; MEADEIRA, M; OLIVEIRA, C; TOMÉ, J AND ALMEIDA, M.H. 1996. Eucalypt Plantations in Portugal. In: *Nutrition of Eucalyptus*, pp. 371 – 387. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.

KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; BORA, N.K.S. 1966 .Nutrition studies on *Eucalyptus*. I. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus* Hybrid seedlings. *Indian Forester*, v.92, n.4, p.264-268.

KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; TANDON, V.N. 1968. Nutrition studies on *Eucalyptus*. III. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus grandis* seedlings. *Indian Forester*, v.94, n.11, p.831-34.

KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; TANDON, V.N. 1970a. Nutrition studies on *Eucalyptus*. IV. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus globulus* seedlings. *Indian Forester*, v.96, n.6, p.453-56,

KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; NEGI, J.D.S. 1970b. Nutrition studies on *Eucalyptus*. V. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus citriodora* seedlings. *Indian Forester*, v.96, n.10, p.787-90,

NOVAIS, R. F, BARROS, N. F, AND NEVES, J. C. L. (1990). Nutrição mineral do eucalipto. In relação solo-eucalipto. Eds. N. F. Barros and. R.F. Novais. pp. 25-98. Ed. Folha de Viçosa: Viçosa.

SMETHURST, P.J. AND WANG, B. 1998. Soil solution Phosphorus and *Eucalyptus nitens* roots in NP- treated microsites in highly phosphorus – fixing soil”. In: *New Zealand Journal of Forestry Science* 28(2), pp. 140-151. New Zealand.

**Tesis y trabajos de grado:**

CORNEJO, B. 1982. Respuesta de una plantación de *E. globulus* (Labill) a la fertilización con Urea y Superfosfato triple en la comuna de Litueche en la sexta Región. Memoria Ing. Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. 92p.

DANTAS, S.V. 1988. Avaliação da eficiência de fosfatos em plantios de *Eucalyptus grandis*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 141p. (Tese de Doutorado)

LYON, A. 1990. Análisis del efecto de la fertilización en plantaciones de un año de *Eucalyptus globulus* Labill., en los suelos volcánicos de la VIII Región. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. 112 p.

POZO, P. 2005. Efecto de la fertilización sobre plantaciones de eucalipto de siete años de edad en la comuna Mafil, provincia de Valdivia. Tesis de grado. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago. Chile. 107 p.

VÁSQUEZ A. 2001. Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia. Tesis de grado. Universidad del Tolima. Ibagué. Tolima. 287p.

#### **Internet:**

APARICIO, J; GERDING, V; SCHLATTER, J; GREZ, R. 2001. Dinámica de elementos nutritivos en la biomasa de *Eucalyptus nitens* al cuarto año de crecimiento, en un suelo rojo arcilloso del sur de Chile. In: Simposio IUFRO. Desarrollando el eucalipto del futuro. Valdivia, Chile. 12p. Disponible en: <http://www.ipef.br/serviços/teses/arquivos/aparicio.jl.pdf>. [Acceso: Mayo 25, 2013].

BALLONI, E.A. 1978. Fertilização florestal. Piracicaba, ESALQ, Departamento de Ciências Florestais, 34p. Disponible en: <http://www.ipef.br/publicações/boletim.../bolinf16.pdf>. [Acceso: Junio 1, 2013].

BARRERA, S. 2012. Fertilización en plantaciones forestales en el trópico. Disponible en: <http://www.fedemaderas.org.co/.../2012/.../FERTILIZACION-EN-FORESTALES-E>. [Acceso: Mayo 19, 2013].

BRAÑAS, J; GONZÁLEZ-RÍO, F. Y MERINO, A. 2000. Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noroeste de la Península Ibérica. Disponible en: <http://www.inia.es/iaspf/2000/vol9-2/branas.pdf>. [Acceso: Enero 13, 2014].

DELL, B., MALAJCZUK, N., XU, D. AND GROVE, T. S. 1995. Nutrient disorders in plantation Eucalypts Australian centre for international agricultural research – ACIAR. Canberra, Australia, 194 p. Disponible en: [http://www.aciar.gov.au/.../node/.../mn074\\_nutrient\\_disorders\\_i...](http://www.aciar.gov.au/.../node/.../mn074_nutrient_disorders_i...) [Acceso: Junio 8, 2013].

FAO, 2004. Inventario forestal nacional - Manual de campo. Departamento de montes. Guatemala. 89 p. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/ae578s/AE578S06.htm>. [Acceso: Mayo 11, 2013].

GARCÍA E; SOTOMAYOR A; SILVA S; VALDEBENITO G. 2000. Establecimiento de plantaciones forestales, eucaliptus sp. Instituto forestal INFOR – fondo de desarrollo e innovación FONDEF. Chile. 32p. Disponible en: <http://virtualplant.net/forestal/resources.Manual-Eucalipto.pdf>. [Acceso: Mayo 26, 2013].

GONCALVES, J. L. y BARROS, N. F. 1996. Mejoramiento de la productividad de sitio para plantaciones de corta rotación en Brasil. Bosque (Valdivia), Vol. 20. N0. 1 p.89-106. Disponible en: [http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92001999000100009&lng=es&nrm=iso](http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92001999000100009&lng=es&nrm=iso). ISSN 0717-9200. [Acceso: Mayo 16, 2013]



LUGO. 1986. Solos, interpretación físicoquímica. Cátedra de Química Xeral e Agrícola, E.U.I.T.A. España. Disponible en: [http://www.geocities.com/Yosemite/8300/anexo1\\_2.htm](http://www.geocities.com/Yosemite/8300/anexo1_2.htm). [Acceso: Mayo 26, 2013]

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e Aplicações. POTAFOS. Disponible en: <http://www.cpact.embrapa.br/.../comunicado-246.pdf>. [Acceso: Abril 27, 2013].

MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A. E. 1995. Adaptação da apostila da disciplina “CEN 807 – Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional”, do curso de pós-graduação em Ciências do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). Os professores responsáveis pela disciplina foram. Disponible en: <http://www.malavolta.com.br/pdf/1157.pdf>. [Acceso: Mayo 19, 2013].

RAMÍREZ, L. 2012. Curso de edafología - El Fósforo. Universidad nacional de Trujillo. Facultad de ciencias agropecuarias. Trujillo. Perú. 33p. Disponible en: <http://www.es.scribd.com/doc/100220661/EL-FOSFORO-EDAFOLOGIA-docx>. [Acceso: Noviembre 23, 2013].

RUIZ, F; SORIA, F; PARDO, M Y TOVAL, G 2001. Ensayos factoriales de fertilización en masas de *Eucalyptus globulus* (Labill.) de mediana edad. Análisis de rentabilidad de inversión por fertilización. In: Simposio IUFRO. Desarrollando el eucalipto del futuro. Valdivia, Chile. 9p. Disponible en: <http://www.secforestales.org/buscador/pdf/3CFE03-075.pdf>. [Acceso: Abril 27, 2013].

SANZANO, A. 2013. Química del Suelo - El Fósforo del suelo. Disponible en: <http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/Fosforo%20del%20Suelo.pdf>. [Acceso: Noviembre 23, 2013].

SAS 9.3 For Windows. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. Disponible en: <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/whatsdiff/.../whatsdiff.pdf>. [Acceso: Mayo 11, 2013].

SILVEIRA, R.L.V.A.; TAKAHASHI, E.N.; SGARBI, F.; BRANCO, E.F. 1996. Sintomas de deficiência de macro nutrientes e boro em híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. In: congressos latino americano de ciência do solo, 13, Águam de Lindóia, Solos suem-lo 96, trabalhos Águam de Lindóia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Sociedade Latino-americana de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM. Disponible en: <http://www.rragroflorestal.com.br/downloads/099.pdf>. [Acceso: Mayo 12, 2013].

SILVEIRA, R.L.V.A., E. N. HIJASHI, A. N. GONCALVES E M. A. MOREIRA. 2000. Avaliação do estado nutricional de *Eucalyptus*: Diagnoses visual e foliar. En: Nutrição e fertiliza-o forestal, pp. 79-102. Disponible en: <http://www.rragroflorestal.com.br/downloads/106.pdf>. [Acceso: Mayo 12, 2013].

SILVEIRA, R.L.V.A. 2000. Monitoramento nutricional em plantios de clones de *Eucalyptus* na região sul da Bahia. Relatório de pesquisa da Bahia Sul Celulose, 61p. Disponible en: [http://www.academia.edu/.../Seja\\_Doutor\\_de\\_Seu\\_Eucalip..](http://www.academia.edu/.../Seja_Doutor_de_Seu_Eucalip..) [Acceso: Mayo 5, 2013].

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M.R.A. 2001 a. Seja o doutor do seu eucalipto. Piracicaba, Potafos, 32p. Disponible en: <http://www.nutricaoeplantas.agr.br/.../eucalipto.../nutrica>. [Acceso: Mayo 4, 2013].

TORO, J. 1995. Avances en fertilización en Pino radiata y Eucalyptus en Chile. In: Simposio IUFRO. Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales. Disponible en: [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2005/pozo\\_e/sources/pozo\\_e.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2005/pozo_e/sources/pozo_e.pdf). [Acceso: Mayo 18, 2013].

VAN DEN DRIESSCHE, R. 1974. Prediction of mineral nutrient status of trees by foliar analysis. In: Botanical Review 40 (3): 347-394. Disponible en: <http://link.springer.com/content/pdf/10.../BF02860066.pdf>. [Acceso: Mayo 11, 2013].

# **ANEXOS**

**Anexo 1. Dosis de fertilizantes fosforados para especies de Eucalyptus y Pinnus basadas en el contenido de arcilla y el fósforo disponible en el suelo.**

		P disponible en el suelo (mg / dm <sup>3</sup> )			
Contenido de arcilla (%)	Genero	0-2	3-5	6-8	> 8
		Cantidad de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg / ha <sup>-1</sup> )			
< 15	Eucalyptus	60	40	20	0
	Pinnus	30	20	0	0
15-35	Eucalyptus	90	70	50	20
	Pinnus	45	35	0	0
>35	Eucalyptus	120	100	60	30
	Pinnus	60	50	0	0

Fuente: Goncalves et al. 1996

## Anexo 2. Características químicas de los suelos finca Chupillauta lote 5-40

Determinación	Unidades	Horizontes			
		Ap	Bw	2Bwd	2C
Grosor	cm	8	27	55	110
pH en H <sub>2</sub> O		4.9	5.5	5.8	5.6
pH en KCl		4.4	5.2	5.4	5.3
N	%	0.71	0.35	0.14	0.12
MO		22.20	8.30	2.80	2.40
P	mg kg <sup>-1</sup>	0.00	0.00	0.00	1.00
K	cmol(+/-)kg <sup>-1</sup>	0.06	0.03	0.01	0.01
Ca		0.00	0.00	0.00	0.00
Mg		0.10	0.00	0.00	0.00
Na		0.02	0.02	0.02	0.02
Al		1.60	0.20	0.10	0.10
Bt		0.18	0.05	0.03	0.03
CIC		31.00	18.00	24.00	20.00
CICE		1.78	0.25	0.13	0.13
K	% saturación	3.36	12.15	7.94	7.81
Ca		0.00	0.00	0.00	0.00
Mg		5.61	0.00	0.00	0.00
Na		1.35	6.88	12.70	14.06
Al		89.69	80.97	79.37	78.13
Bt		0.59	0.26	0.11	0.14
Ca/K	Relaciones	-	-	-	-
Ca/Mg		-	-	-	-
Mg/K		1.67	-	-	-
(Ca+Mg)/K		1.67	-	-	-
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	844.00	240.00	107.00	209.00
Mn		0.00	0.00	0.00	0.00
Zn		1.00	1.00	1.00	1.00
Cu		4.00	6.00	1.00	1.00
B		0.20	0.20	0.30	0.20
S		3.60	10.00	16.40	20.60

**Anexo 3. Formato de campo para recolección información, mediciones de variables diámetro cuello de raíz y altura total.**

**Estudio: 5-40**

**Finca: 21CHUPI**

**Estudio de Fertilización con fósforo**

**Fecha de Establecimiento: Mayo/28/2013**

**Fecha de**

**Medición:**

**Responsable:** \_\_\_\_\_

BLO	TRA	ARB	Edad Meses				OBS
			DCR3	ALT3	DCR6	ALT6	

## **Anexo 4. Paso a paso para el análisis de información de variables dasométricas y resultados de muestras foliares en el programa SAS**

### **Anexo 4 a. Análisis variables DCR y Ht**

\*SELECCION DE VARIABLES;

Filename stdata "I: \SILVICULTURA, ECOLOGIA Y NUTRICION\2 ESTUDIOS\1 EUCALIPTOS\EST 5-40\21CHIPIN4 ANALISIS\ANALISIS SCC\data.csv" lrecl=800;

**proc import** datafile=stdata

    out=data

        dbms=csv

replace;

getnames=yes;

**run;**

options helpbrowser=sas;

ods html;

ods graphics on;

**proc sort** data=data;

**run;**

**PROC SORT** DATA=data; by tra;

**PROC MEANS** NOPRINT DATA=data;

BY tra;

VAR DCR3mm ALT3cm ALT3m DCR6mm ALT6m ;

OUTPUT OUT=descrip MEAN=MDCR3mm MALT3cm MALT3m MDCR6mm

MALT6m STD=SDDCR3mm SDALT3cm SDALT3m SDDCR6mm SDALT6m CV=

CVDCR3mm CVALT3cm CVALT3m CVDCR6mm CVALT6m;

**RUN;**

/\*Prueba de medias\*/;

**proc glm** data=data;



```

class TRA prod;
model ALT6m DCR6mm = prod TRA /solution;
means prod /duncan;
run;
proc glm data=data;
class TRA BLO;
model ALT6m DCR6mm = TRA/solution;
means TRA /duncan;
run;
proc glm data=data;
class TRA prod;
model ALT6m DCR6mm = prod TRA /solution;
means prod /duncan;
run;
data data1; set data;
if prod="DAP" then delete;run;
proc glm data=data1;
class TRA;
model ALT6m DCR6mm = TRA /solution;
means TRA/duncan;
run;
data data2; set data;
if prod="GRANUF" then delete;run;
proc glm data=data2;
class TRA;
model ALT6m DCR6mm = TRA /solution;
means TRA/duncan;
run;

```

## Anexo 4 b. Análisis resultados muestras foliares

\*SELECCION DE VARIABLES;

```
Filename sdata "I:\SILVICULTURA, ECOLOGIA Y NUTRICION\2 ESTUDIOS\1  
EUCALIPTOS\EST 5-40\21CHUPI\4 ANALISIS\ANALISIS SCC\datafoliar.csv"  
lrecl=800;
```

```
proc import datafile=sdata
```

```
    out=data
```

```
        dbms=csv
```

```
replace;
```

```
getnames=yes;
```

```
run;
```

```
options helpbrowser=sas;
```

```
ods html;
```

```
ods graphics on;
```

```
proc sort data=data;
```

```
run;
```

```
PROC SORT DATA=data; by tra;
```

```
PROC MEANS NOPRINT DATA=data;
```

```
BY tra;
```

```
VAR N P K Mg Ca S B Zn Mn Fe Cu;
```

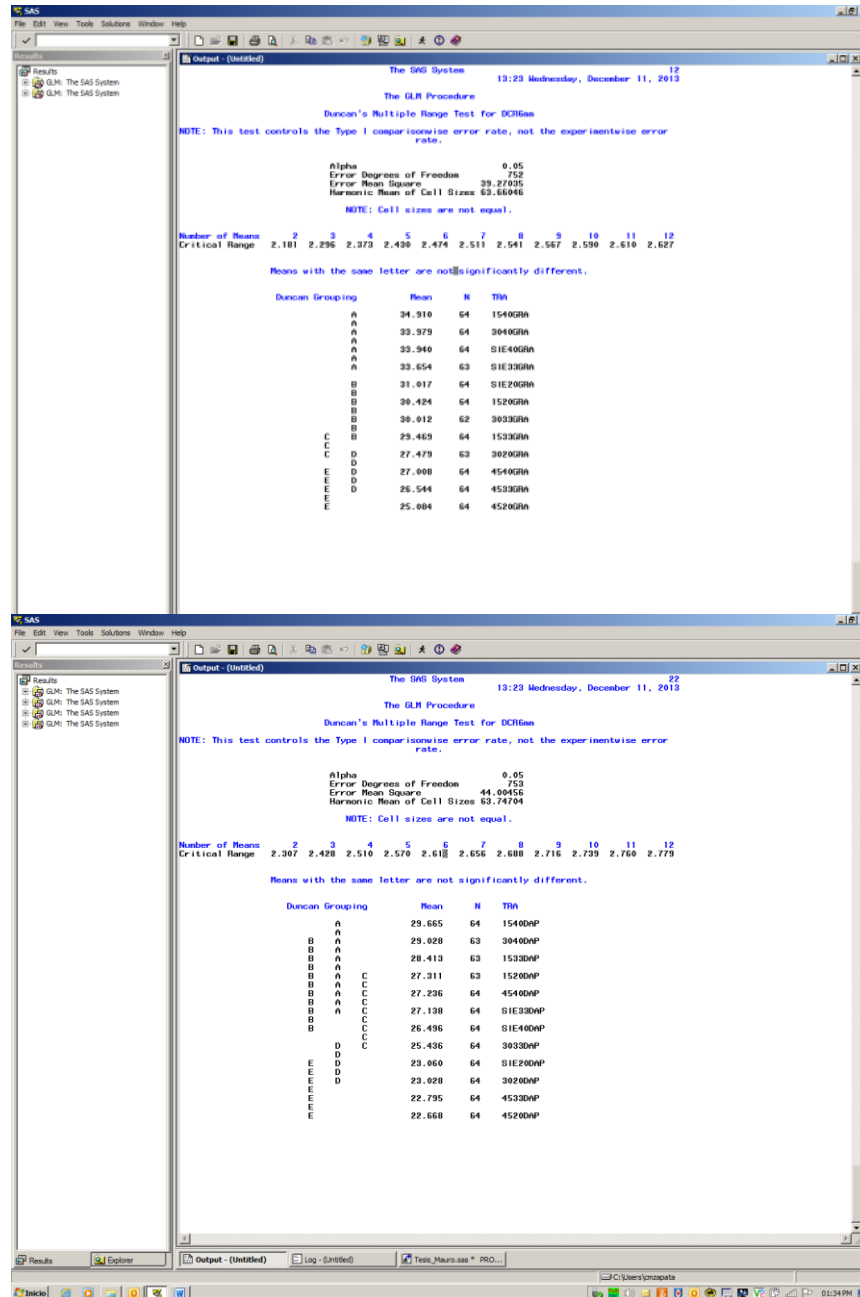
```
OUTPUT OUT=descrip MEAN= mN mP mK mMg mCa mS mB mZn mMn mFe  
mCu
```

```
STD=sdN sdP sdK sdMg sdCa sdS sdB sdZn sdMn sdFe sdCu
```

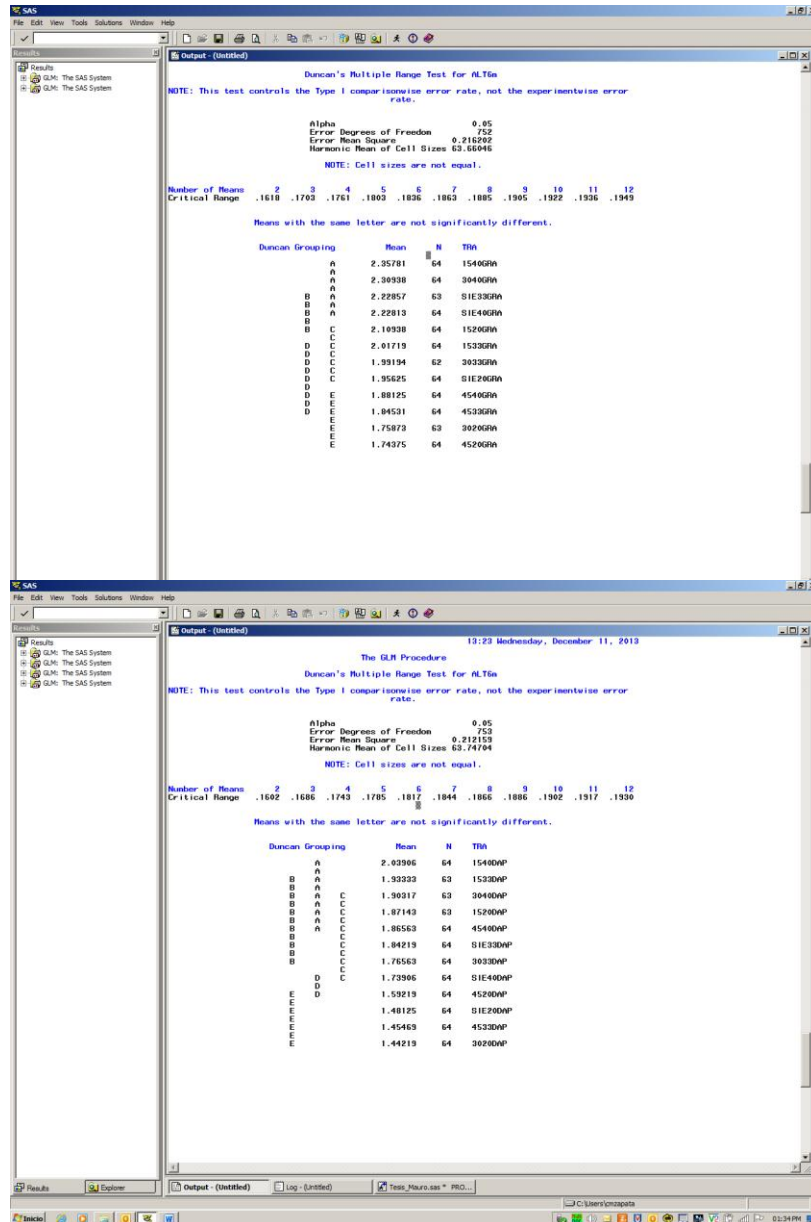
```
CV= cvN cvP cvK cvMg cvCa cvdS cvdB cvdZn cvMn cvFe cvCu;
```

```
RUN;
```

## Anexo 5. Resultados comparación de medias variable diámetro cuello de raíz – DCR, mediante prueba de DUNCAN



## Anexo 6. Resultados comparación de medias variables Altura total – Ht, mediante prueba de DUNCAN



**Anexo 7. Estadísticos de variables dasométricas (diámetro cuello de raíz y altura) por tratamiento**

**ESTADISTICOS DE VARIABLES DASOMETRICAS**

TRA	DDS	Dose	Producto	MDCR6mm	MALT6m	SDDCR6mm	SDALT6m
SIE20DAP	DAP_SIEMBRA	20	DAP	23,06	1,481	7,382	0,474
SIE33DAP	DAP_SIEMBRA	33	DAP	27,138	1,842	6,982	0,477
SIE40DAP	DAP_SIEMBRA	40	DAP	26,496	1,739	7,979	0,529
1520DAP	DAP_15	20	DAP	27,311	1,871	5,589	0,455
1533DAP	DAP_15	33	DAP	28,413	1,933	6,763	0,474
1540DAP	DAP_15	40	DAP	29,665	2,039	5,644	0,445
3020DAP	DAP_30	20	DAP	23,028	1,442	7,629	0,486
3033DAP	DAP_30	33	DAP	25,436	1,766	6,357	0,434
3040DAP	DAP_30	40	DAP	29,028	1,903	5,932	0,432
4520DAP	DAP_45	20	DAP	22,668	1,592	6,047	0,435
4533DAP	DAP_45	33	DAP	22,795	1,455	6,972	0,474
4540DAP	DAP_45	40	DAP	27,236	1,866	5,746	0,4
SIE20GRA	GRA_SIEMBRA	20	GRA	31,017	1,956	6,252	0,431
SIE33GRA	GRA_SIEMBRA	33	GRA	33,654	2,229	6,401	0,452
SIE40GRA	GRA_SIEMBRA	40	GRA	33,94	2,228	6,786	0,515
1520GRA	GRA_15	20	GRA	30,424	2,109	6,688	0,417
1533GRA	GRA_15	33	GRA	29,469	2,017	6,135	0,482
1540GRA	GRA_15	40	GRA	34,91	2,358	6,444	0,554
3020GRA	GRA_30	20	GRA	27,479	1,759	7,916	0,546
3033GRA	GRA_30	33	GRA	30,012	1,992	6,701	0,526
3040GRA	GRA_30	40	GRA	33,979	2,309	5,15	0,389
4520GRA	GRA_45	20	GRA	25,084	1,744	6,009	0,475
4533GRA	GRA_45	33	GRA	26,544	1,845	5,319	0,398
4540GRA	GRA_45	40	GRA	27,008	1,881	4,83	0,343

### **Anexo 8. Deficiencias de fósforo en algunos árboles**

Los síntomas de deficiencia de fósforo se manifiestan en las hojas más viejas, estas son de color verde oscuro, también hay reducción drástica en el tamaño de las plantas y estas son completamente púrpura.



**Fotografías A, B.** Árboles que presentan deficiencias de fósforo.

## Anexo 9. Diferencias en el crecimiento de los árboles entre los tratamientos aplicados

### Anexo 9 a. Árboles de tratamientos aplicados con DAP



**Fotografía C.** Árbol fertilizado al momento de la siembra con una dosis de 149 gr de DAP

**Fotografía D.** Árbol fertilizado a los 45 días de la siembra con una dosis de 90 gr de DAP

## Anexo 9 b. Árboles de tratamientos aplicados con GRANUFOS



**Fotografía E.** Árbol fertilizado al momento de la siembra con una dosis de 171 gr de GRANUFOS.

**Fotografía F.** Árbol fertilizado a los 45 días de la siembra con una dosis de 171 gr de GRANUFOS.



## Anexo 10. Relación toma de muestras por bloque, tratamiento y árbol

B-I			B-II		
PARCELA	TRATAMIENTO	N° ARBOL	PARCELA	TRATAMIENTO	N° ARBOL
1	40GRA-15D	4-7-12-14-16	1	33GRA-0D	1-3-10-12-16
2	20GRA-0D	2-5-9-12-14	2	20DAP-30D	2-4-10-13-16
3	20GRA-30D	1-3-8-10-14	3	33DAP-45D	1-7-11-13-15
4	20DAP-30D	6-7-10-11-16	4	40GRA-15D	3-8-10-12-14
5	40DAP-30D	1-6-7-12-15	5	40GRA-0D	4-6-12-14-16
6	40GRA-0D	2-4-6-9-12	6	33DAP-0D	1-3-8-10-12
7	33GRA-0D	1-4-5-9-16	7	40GRA-30D	2-4-8-10-15
8	33GRA-30D	3-6-7-11-13	8	33DAP-15D	2-4-6-9-14
9	33GRA-45D	4-8-11-14-16	9	20DAP-15D	1-5-10-13-16
10	20GRA-15D	2-5-8-10-15	10	40DAP-0D	2-4-9-12-15
11	40DAP-0D	1-3-7-14-16	11	20GRA-15D	4-6-9-11-13
12	40DAP-45D	5-6-10-12-15	12	20DAP-45D	1-3-5-11-15
13	20DAP-15D	1-3-5-7-13	13	20DAP-0D	4-5-7-11-15
14	40GRA-30D	2-4-7-10-15	14	40GRA-45D	2-6-9-13-15
15	33DAP-0D	1-3-5-7-9	15	20GRA-45D	1-5-7-9-13
16	33DAP-15D	7-9-11-13-15	16	40DAP-15D	3-8-10-12-16
17	20DAP-0D	5-7-10-13-14	17	33GRA-30D	1-4-9-11-14
18	20GRA-45D	2-6-9-12-15	18	40DAP-45D	3-6-8-10-13
19	33DAP-30D	1-3-7-11-16	19	33GRA-45D	2-5-8-11-15
20	33GRA-45D	2-6-9-13-15	20	20GRA-0D	2-6-9-12-15
21	33GRA-15D	4-8-11-14-16	21	33GRA-15D	4-8-9-12-14
22	40GRA-45D	3-5-6-10-13	22	40DAP-30D	4-6-10-13-16
23	40DAP-15D	1-3-9-12-15	23	20GRA-30D	3-8-5-10-14
24	20DAP-45D	2-5-7-14-16	24	33DAP-30D	1-4-7-11-16

B-III		
PARCELA	TRATAMIENTO	N° ARBOL
1	20DAP-0D	3-8-12-14-16
2	40DAP-0D	3-8-10-12-15
3	20GRA-30D	1-7-11-13-16
4	33DAP-15D	2-5-8-11-16
5	40GRA-30D	4-5-7-11-15
6	20GRA-0D	3-5-7-9-14
7	40GRA-0D	1-4-6-9-14
8	40DAP-15D	1-5-10-13-16
9	33DAP-45D	1-4-8-11-15
10	33GRA-30D	1-6-9-13-15
11	20DAP-30D	3-7-9-11-15
12	40GRA-45D	2-5-8-11-16
13	33DAP-30D	4-6-9-12-14
14	20DAP-15D	3-7-10-12-15
15	20DAP-45D	2-6-8-12-14
16	20GRA-15D	3-5-7-11-15
17	33DAP-15D	1-4-6-10-13
18	40DAP-30D	2-5-7-9-16
19	33GRA-0D	1-6-9-12-15
20	20GRA-45D	3-8-11-13-15
21	40DAP-45D	1-4-6-14-16
22	33GRA-45D	4-6-8-10-14
23	33DAP-0D	3-5-9-13-15
24	40GRA-15D	2-5-8-13-16

B-IV		
PARCELA	TRATAMIENTO	N° ARBOL
1	40GRA-15D	2-5-8-11-16
2	20GRA-30D	3-8-9-11-15
3	40DAP-30D	1-7-9-12-14
4	40GRA-45D	3-5-8-11-14
5	33GRA-15D	4-6-8-11-15
6	33DAP-30D	2-5-10-13-16
7	20DAP-30D	4-6-9-12-15
8	33GRA-0D	3-8-10-13-16
9	20DAP45D	1-5-9-12-15
10	20GRA-0D	2-6-9-12-14
11	33DAP-15D	3-5-8-13-16
12	20GRA-45D	1-3-6-9-15
13	20DAP-0D	2-5-10-13-16
14	40DAP-0D	3-8-11-13-16
15	20GRA-15D	4-7-9-12-14
16	33DAP-45D	1-3-5-13-15
17	40GRA-0D	2-6-9-12-16
18	33GRA-45D	1-6-10-13-16
19	20DAP-15D	4-7-9-11-13
20	40DAP-45D	3-5-7-9-15
21	33GRA-30D	2-6-8-12-16
22	40GRA-30D	1-4-9-11-14
23	40DAP-15D	2-4-7-12-15
24	33DAP-0D	3-5-8-13-16