



FERTILIZACIÓN DE *Eucalyptus globulus* PRODUCIDOS EN CONTENEDORES



AUTORES
JORGE TORO VERGARA
IVAN QUIROZ MARCHANT





**FERTILIZACIÓN DE *Eucalyptus globulus*
PRODUCIDOS EN CONTENEDORES**

**Proyecto INNOVA CHILE
DESARROLLO DE ESTÁNDARES DE ORIGEN DE LA SEMILLA Y CALIDAD
DE LA PLANTA PARA EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN PLANTACIONES
Y BOSQUES NATURALES**



**AUTORES
JORGE TORO VERGARA
IVAN QUIROZ MARCHANT**

FERTILIZACIÓN DE *Eucalyptus globulus* PRODUCIDOS EN CONTENEDOR

Registro de Propiedad Intelectual N° 164.660

I.S.B.SN. 978-956-8274-92-4

El resultado de este documento nace en base al proyecto INNOVACHILE 03C9FM-01 *DESARROLLO DE ESTÁNDARES DE ORIGEN DE LA SEMILLA Y CALIDAD DE LA PLANTA PARA EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN PLANTACIONES Y BOSQUES NATURALES*. Este documento fue financiado por INNOVA CHILE – CORFO.

Copyright © 2007 Instituto Forestal
Primera Edición 2007
Tiraje 1.500 ejemplares

Este libro se terminó de imprimir en los talleres de Trama Impresores S.A.
Hualpén, Chile en el mes de Octubre de 2007.



INDICE

	Página
PROLOGO	
CAPITULO 1: IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN EN CONTENEDORES	13
1.1 Enfoques Sobre la Fertilización en Viveros	13
1.2 Importancia de la Planificación en la Producción de Plantas	15
1.3 Conceptos de Nutrición Forestal en el Manejo Nutricional de Viveros	17
1.4 El Sustrato	19
1.5 Importancia de las Micorrizas	21
CAPITULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS NUTRIENTES	25
2.1 Nutrientes y Minerales	25
2.2 Nutrientes Esenciales	25
2.3 Absorción y Utilización de Nutrientes	26
2.4 Macronutrientes y Micronutrientes	27
2.5 Quelatos	27
2.6 Rol Fisiológico de los Nutrientes	28
2.7 Determinación de la Concentración de Nutrientes	30
2.8 Nivel de Nitrógeno Como Base Para Prescribir Dosis de Fertilización	31
2.9 Balance Nutricional	33
CAPITULO 3: REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA ESPECIE	37
3.1 Fecha de Siembra, Primera Fertilización	38
3.2 Fase Inicial de Crecimiento	38
3.3 Fase Intermedia o de Crecimiento Acelerado	39
3.4 Fase de Endurecimiento	39
3.5 Fertilizantes Existentes en el Mercado Nacional	40
3.6 Fertilizantes Solubles, Granulados, Entrega lenta, Preparaciones Especiales	41

CAPITULO 4: FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA DESARROLLAR UN PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN	47
4.1 Análisis Químico del Agua de Riego	47
4.2 Análisis Químico y Físico del Sustrato	49
4.3 Influencia del pH en el Comportamiento de los Nutrientes	51
4.4 Importancia de la Conductividad Eléctrica	51
 CAPITULO 5: PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN	 55
5.1 Preparación de un Programa de Fertilización	55
5.1.1 Fase de crecimiento inicial	57
5.1.2 Fase de crecimiento acelerado	59
5.1.3 Fase de endurecimiento	60
5.2 Aplicación de Fertilizantes de Acuerdo a la Tasa de Inyección del Vivero	62
5.3 Monitoreo de la Fertilización	63
 CAPITULO 6: ANÁLISIS NUTRICIONAL DE LAS PLANTAS	 65
6.1 Estándares e Interpretación de Análisis Nutricionales	65
6.2 Comparación de los Resultados Analíticos con Valores Estándares	67
6.3 Síntomas Visuales de las Deficiencias Nutricionales	74
 CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 79
 CAPITULO 8: REFERENCIAS	 83

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1:	Elementos esenciales diferenciados en macro y micro nutrientes (EPSTEIN, 1972)	26
Cuadro 2:	Funciones bioquímicas realizadas por los diferentes elementos esenciales y su ubicación en grupos con actividades específicas (MENGEL Y KIRBY, 1987; LARCHER, 2001)	29
Cuadro 3:	Rango de concentraciones de nitrógeno que se aplican en viveros para diferentes especies forestales, en contenedores durante las tres etapas de crecimiento	32
Cuadro 4:	Concentraciones de nutrientes y proporciones considerando el nitrógeno como dentro del rango considerado como adecuado (INGESTAD, 1981)	33
Cuadro 5:	Niveles de referencia para fertilizar en cada una de las etapas de crecimiento (TINUS Y MACDONALD, 1979)	34
Cuadro 6:	Principales fertilizantes granulados que se encuentran en el mercado nacional	42
Cuadro 7:	Factores de conversión	43
Cuadro 8:	Ejemplo de la presentación de dos fertilizantes soluble Peters, para aplicarlos en las diferentes etapas de crecimiento	44
Cuadro 9:	Fertilizantes solubles Línea Ultrasol grado superior de SOQUIMICH	44
Cuadro 10:	Caracterización química del agua de riego, provenientes de tres diferentes fuentes de agua que se empleadas operacionalmente en el fertirriego	48
Cuadro 11:	Caracterización química de tres diferentes sustratos utilizados en viveros forestales (ROMAN, 2001)	50
Cuadro 12:	Niveles de salinidad para un sustrato compuesto por turba y vermiculita (TIMMER Y PARTON, 1982)	52
Cuadro 13:	Fase de crecimiento inicial, las concentraciones que se entregan, le permiten al viverista aplicarlas mientras desarrolla sus propias prescripciones	57
Cuadro 14:	Fase de crecimiento acelerado, las concentraciones que se presentan en el cuadro, permiten al viverista aplicarlas mientras desarrolla sus propias prescripciones para esta etapa	60
Cuadro 15:	Fase de endurecimiento de las plántulas, las concentraciones que se entregan, pueden servir como punto de partida para que los viveristas desarrollen sus propias prescripciones	61

Cuadro 16:	Tablas para determinar la cantidad de fertilizante comercial que debe agregarse por cada 3,8 litros de agua	62
Cuadro 17:	Valores promedios de concentración de macronutrientes obtenidos de 41 viveros que producen plantas de <i>E. globulus</i> en contenedores, viveros ubicados entre la VI y IX Región. Muestreo realizado en Septiembre 2005	68
Cuadro 18:	Valores promedios de concentración de macronutrientes obtenidos de 41 viveros ubicados entre la VI y IX Región. Las plantas de <i>E. globulus</i> fueron producidas en contenedores. Muestreo realizado en Septiembre de 2006	69
Cuadro 19:	Valores promedios de concentración de micronutrientes obtenidos de 41 viveros ubicados entre la VI y IX Región. Las plantas de <i>E. globulus</i> fueron producidas en contenedores. Muestreo realizado en Septiembre de 2006	69
Cuadro 20:	Concentraciones promedios de un vivero ubicado en Los Ángeles, que no participó en la encuesta. Se analizaron las plantas completas, incluyendo en la muestra el follaje, tallo y raíces	70
Cuadro 21:	Análisis químico de la parte aérea y radicular de plántulas de <i>E. globulus</i>	71
Cuadro 22:	Análisis químico de varios componentes de plántulas de <i>E. globulus</i> , producidas en contenedores en un vivero de Los Ángeles	72
Cuadro 23:	Atributos Nutricionales de las Plántulas de <i>E. globulus</i> (INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, 2006)	73
Cuadro 24:	Atributos morfológicos de las plántulas de <i>E. globulus</i> y <i>E. nitens</i> (INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, 2006)	74
Cuadro 25:	Síntomas visuales que se encuentran en las hojas de <i>Eucalyptus</i> cuando hay deficiencias nutricionales (DELL, 1996)	76
Cuadro 26:	Concentraciones nutricionales sugeridas para <i>E. globulus</i> que pueden usarse en forma preliminar mientras cada viverista las ajusta para su propia realidad (BOARDMAN <i>et al.</i> , 1997)	78

INDICE DE FOTOS Y FIGURAS

Foto 1:	Plántula de <i>E. globulus</i> , con un sustrato firme, con una relación volumen aéreo: volumen radicular muy desequilibrado. El diámetro de cuello de la plántula es de 8 mm, y tiene una altura de 38 cm esto genera una plántula descompensada entre el volumen aéreo y el radicular (Foto: J. TORO)	14
Foto 2:	Plántulas de <i>E. globulus</i> que se encuentran en una etapa de acondicionamiento para soportar heladas (Foto: I. QUIROZ)	15
Foto 3:	Plántulas de <i>E. globulus</i> en etapa de crecimiento acelerado. Se observa un excesivo desarrollo aéreo en desmedro del crecimiento radicular, generando una plántula descompensada entre el volumen aéreo y el radicular (Foto: J. TORO)	16
Foto 4:	Destino final de las plántulas, el resultado del trabajo en vivero se evalúa en terreno, es importante la colaboración de los silvicultores en el trabajo de los viveristas (Foto: J. TORO)	17
Foto 5:	Vivero de <i>E. globulus</i> con plántulas equilibradas nutricional y fisiológicamente (Foto: J. TORO)	19
Foto 6:	Diferencias de crecimiento causadas por un sustrato mal preparado. Las plántulas que aparecen en primer plano, a la derecha, crecen en un sustrato con relación C/N > 60. Las de atrás, crecen en un sustrato maduro con una relación C/N < 35 (Foto: J. TORO)	20
Foto 7:	Cuerpos frutales de diferentes hongos micorrícicos, los cuales pueden ser inoculados al sustrato en alguna de las etapas de crecimiento en el vivero (Foto: P. CHUNG).	22
Foto 8:	Plántula de <i>E. globulus</i> , con un sistema radicular micorrizado, que ha desarrollado un volumen importante de raíces y pronta a ser enviada a terreno (Foto: I. QUIROZ)	23
Foto 9:	Plántulas en la etapa de crecimiento acelerado. En este período, se aplica nitrógeno en concentraciones más elevadas, manteniendo una proporción con fósforo y potasio (Foto: J. TORO)	39
Foto 10:	Plántulas en etapa de endurecimiento. El aporte de nitrógeno es bajo, y aumenta el de fósforo y potasio, manteniendo una concentración similar de microelementos (Foto: J. TORO)	40
Foto 11:	Plántula de color rojizo, producto de la acumulación de antocianinas. Lado derecho, clorosis manifestada homogéneamente en todo el follaje, vivero en la Octava Región (Foto: J. TORO).	75
Figura 1.	A medida que aumenta la concentración de un elemento esencial, en rangos definidos, aumenta el crecimiento de la plántula. Un exceso o un déficit en la concentración de un determinado elemento, afecta de inmediato el rendimiento, el cual disminuye (CHAPMAN, 1967)	31



PROLOGO



La información disponible sobre fertilización de Eucaliptos producidos en contenedores es escasa a nivel nacional. La mayor parte de ella, se encuentra en las empresas forestales y clasificadas como información reservada. Otra fuente de información, ha sido generada por los estudiantes de pregrado del profesor RENE ESCOBAR de la Universidad de Concepción y los profesores ÁNGEL CABELLO y JORGE TORO de la Universidad de Chile.

En las empresas forestales, el vivero tradicional se ha transformado paulatinamente en un vivero tecnificado, en donde el administrador del vivero, es asesorado por especialistas, que participan en la preparación y monitoreo de una serie de programas, como por ejemplo, para fertirriegos, control de plagas, preparación de sustratos, y fertilización. Existe sin embargo, una gran diferencia con el pequeño y mediano viverista, quienes deben producir sus plántulas contando para ello con medios más escasos y tecnologías no tan avanzadas.

La función del INSTITUTO FORESTAL (INFOR) en este sentido, adquiere una gran relevancia porque a través de su Centro Tecnológico de la Planta Forestal (www.ctpf.cl), le permite apoyar técnicamente a estos pequeños y medianos empresarios, y orientarlos a mejorar la calidad de su producción.

Dada la importancia que reviste la especie *Eucalyptus globulus* para la economía forestal de nuestro país y al interés de muchos viveristas que desean mejorar el manejo nutricional de sus viveros, se ha escrito este documento, para entregarles conceptos básicos y prácticos.

Este documento se origina en el marco del Proyecto “*Desarrollo de Estándares de Origen de la Semilla y Calidad de la Planta Para el Aumento de la Productividad en Plantaciones y Bosques Naturales*”, adjudicado por el INFOR en concurso organizado por INNOVA - CHILE (Ex Fondo de Desarrollo e Innovación) dependiente de CORFO.

CAPITULO 1



IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN EN CONTENEDORES

La fertilización es una importante técnica cultural empleada para la producción de plantas en viveros. Sin embargo ésta por si sola, no puede lograr el objetivo de producir plántulas de alta calidad. Otros factores que contribuyen al éxito de un programa nutricional son: la calidad del agua de riego, la frecuencia e intensidad del riego, la calidad del sustrato, el control oportuno de patógenos (TINUS Y McDONALD, 1979, DURYEA, 1985).

La fertilización debe buscar un equilibrio entre los diferentes nutrientes esenciales que se aplican, para que las plántulas formen sus órganos, produzcan los compuestos químicos necesarios para su apropiado funcionamiento, ejecuten sus procesos fisiológicos y reacciones bioquímicas, que le permitan a las plántulas desarrollarse en forma óptima (WESTERN FERTILIZER HANDBOOK, 1990; TISDALE *et al.*, 1993).

El objetivo final de la fertilización, es producir una planta equilibrada morfológica y fisiológicamente, para que una vez plantada, esta reinicie de inmediato su desarrollo y crecimiento, utilizando los recursos existentes en el sitio, con su maquinaria biológica en óptimo estado (ROSE *et al.*, 1991).

1.1 Enfoques Sobre la Fertilización en Viveros

La actual producción de plantas en los viveros, es una forma muy intensiva de manejo, especialmente cuando se producen plántulas en contenedores. Aunque todas las fases del manejo del vivero son importantes, el suelo (sustrato) y las prácticas que tienen que ver con él, constituyen el núcleo de todo programa de manejo.

Para que las plantas crezcan vigorosamente, el suelo debe suministrar humedad adecuada, nutrientes, aireación y espacio (ARMSON Y SADREIKA, 1979). Aparte de consideraciones genéticas, los niveles de estos cuatro factores, junto con la luz y la temperatura, controlan el desarrollo y tamaño de las plántulas en el vivero. Por otra parte, debe mantenerse un control sanitario estricto, para que los insectos, hongos, bacterias y otros agentes patógenos, no generen enfermedades en un nivel tal que dañen la producción.

A pesar que en la producción de plantas en contenedores, el suelo mineral ha sido reemplazado por sustratos orgánico como la turba, la corteza de pino radiata o mezclas con materiales minerales, como perlita, vermiculita, el rol del sustrato es básicamente el mismo: proporcionar los factores de crecimiento en las cantidades apropiadas (PRADO Y TORO, 1996).

Debe mantenerse siempre en mente, que las plantas producidas en los viveros, están destinadas principalmente a formar plantaciones que serán cosechadas diez a quince años después (BIRK, 1994). Por este motivo se requiere que la producción de plántulas, se realice con una adecuada planificación, ya que es el inicio de una secuencia productiva que debe conducir a una silvicultura productiva y rentable.



Foto 1: Plántula de *E. globulus*, con un sustrato firme, con una relación volumen aéreo: volumen radicular muy desequilibrado. El diámetro de cuello de la plántula es de 8 mm, y tiene una altura de 38 cm esto genera una plántula descompensada entre el volumen aéreo y el radicular (Foto: J. TORO).

La fertilización mineral ha sido una práctica que se realiza con variada intensidad en todos los viveros nacionales, con el propósito de producir plantas de alta calidad. La forma de fertilizar, las cantidades aplicadas y los productos utilizados, han experimentado grandes cambios en las tres últimas décadas (PRADO Y TORO, 1996).

Hubo un período en que todas las plántulas se producían a raíz desnuda. Actualmente, la tendencia es producir mayoritariamente plantas en contenedores y sólo un porcentaje menor es producido a raíz desnuda.

Una característica muy marcada en los viveros antiguos, era la de producir plantas que recibieran pocos cuidados durante el periodo de viverización, para acostumbrarlas así a un ambiente duro, estresante.

Generalmente, los viveristas no fertilizaban las plántulas o aplicaban bajas cantidades para producir plántulas “con hambre de nutrientes” (starving) (NEW ZEALAND FOREST SERVICE, 1981) para aclimatarlas a condiciones extremas.

Este punto de vista ha cambiado sustancialmente y existe un amplio consenso en que es necesario proporcionarle a las plantas condiciones más favorables para el crecimiento, tanto de tipo climático y nutricional. Esto permite que las plantas sean capaces fisiológicamente de enfrentar situaciones adversas en los lugares definitivos de plantación (DURYEA Y McCLAIN, 1984).



Foto 2: Plántulas de *E. globulus* que se encuentran en una etapa de acondicionamiento para soportar heladas (Foto: I. QUIROZ).

1.2 Importancia de la Planificación en la Producción de Plantas

Las condiciones topográficas, climáticas y edáficas que predominan en los sitios en donde serán establecidos los viveros, deben ser conocidas con anticipación por los viveristas. Esto permitirá aplicar los tratamientos apropiados para acondicionar a las plántulas para que soporten exitosamente las condiciones estresantes que encontrarán en los sitios en que serán plantadas definitivamente.

De esta manera, cada vivero debe prepararse para producir plántulas de distinto tamaño, con una relación parte aérea / parte radicular que variará según las características del lugar, con un tamaño de hojas adecuado para no perder demasiada humedad debido al efecto secante del viento, que presenten un desarrollo armónico entre la parte aérea y las raíces, que el contenido de nutrientes sea el apropiado para enfrentar las situaciones estresantes que surjan, etc.

La fertilización mineral, cuando se aplica en combinación con riego, permite preparar convenientemente un programa de fertirriego, para acondicionar las plántulas y prepararlas para establecerlas en sitios con variadas restricciones, provenientes principalmente de limitaciones climáticas y de suelos. Los sustratos proporcionan generalmente a las plántulas un ambiente muy favorable, que les provee de humedad, nutrientes, aireación y espacio adecuado para crecer.



Foto 3: Plántulas de *E. globulus* en etapa de crecimiento acelerado. Se observa un excesivo desarrollo aéreo en desmedro del crecimiento radicular, generando una plántula descompensada entre el volumen aéreo y el radicular (Foto: J. TORO).

Los problemas físicos de suelo encontrados al momento de hacer la plantación, tales como: alta compactación, mal drenaje, alta pedregosidad, suelos muy delgados, suelos muy húmedos, baja aireación, etc. pueden ser evitados, controlados, realizando una adecuada prospección a los suelos antes de preparar el sitio y el suelo.

Estas restricciones limitan la exploración del suelo por las raíces, afectan el intercambio gaseoso, disminuyen la respiración de las raíces, mantienen un bajo nivel de temperatura que afecta el desarrollo de numerosos procesos fisiológicos e impiden un contacto estrecho entre las raíces y las partículas de suelo (LANDIS *et al.*, 1989).

Mirado desde un punto de vista global, la calidad del trabajo realizado en el vivero, se mide sólo parcialmente cuando las plántulas se extraen y envían a terreno, porque el éxito es medido finalmente de

acuerdo al comportamiento de las plantas en los diferentes predios. Por lo anterior debe existir una muy buena relación entre los viveristas y los profesionales que planifican y participan en la etapa de establecimiento de las plántulas.



Foto 4: Destino final de las plántulas, el resultado del trabajo en vivero se evalúa en terreno, es importante la colaboración de los silvicultores en el trabajo de los viveristas (Foto: J. TORO).

Es frecuente observar que plántulas con un alto potencial de crecimiento, que fueron muy bien evaluadas en el vivero, muestren una baja tasa de crecimiento y supervivencia en la plantación, causada ya sea por: una inadecuada preparación del suelo, plantadores con poco entrenamiento, o las aplicaciones de herbicidas no se realizaron oportunamente, o porque la plantación se atrasó por muchas y justificadas razones.

1.3 Conceptos de Nutrición Forestal en el Manejo Nutricional de Viveros

Las plántulas desde que inician el proceso de germinación hasta que salen del vivero a sus lugares definitivos, experimentan distintas etapas de crecimiento y desarrollo.

Cada una de sus células, cada tejido, cada órgano, necesita del aporte equilibrado de los nutrientes esenciales, en las tasas requeridas para crecer en forma apropiada. Una nutrición óptima, significa que las plántulas reciben los nutrientes esenciales en las cantidades y proporciones requeridas en los momentos precisos. De aquí radica la importancia de la esencialidad de los nutrientes minerales.

El término “*elemento mineral esencial*” fue propuesto por ARNON Y STOUT (1939). Ellos concluyeron que para que un elemento sea considerado esencial debía reunir los siguientes requisitos:

1. Una planta debe ser incapaz de completar su ciclo de vida cuando un elemento mineral está ausente.
2. La función de un elemento no puede ser reemplazada por otro elemento mineral.
3. El elemento debe estar involucrado directamente en el metabolismo de la planta, por ejemplo, como componente de un constituyente esencial, como una enzima o debe ser requerido para un paso metabólico específico, como por ejemplo participar en una reacción enzimática.

De acuerdo a esta definición, aquellos minerales que reemplazan a los nutrientes minerales en algunas funciones no tan específicas, tales como la mantención de la presión osmótica, no son nutrientes esenciales, pero pueden ser descritas como “*nutrientes benéficos*” (MARSCHNER, 1996).

Para las plantas forestales, la esencialidad de trece elementos está bien establecida, aunque los requerimientos conocidos del elemento cloro (Cl), están restringidos a un número limitado de especies.

Debido al gradual pero continuo mejoramiento de las técnicas analíticas, especialmente en la purificación de las sustancias químicas, la lista de elementos esenciales podría extenderse para incluir elementos que son esenciales sólo en concentraciones muy bajas y que entrarían en la categoría de microelementos.

Muchos micronutrientes son componentes de enzimas y son requeridos en pequeñas cantidades. En cambio, los macronutrientes, son constituyentes de compuestos orgánicos, como proteínas y ácidos nucleicos o también actúan en procesos osmóticos. Estas diferencias en función, están reflejadas en las concentraciones promedios de los nutrientes en los tallos y hojas (MARSCHNER, 1996).

Como en todo orden de cosas, es necesario adaptarse a los cambios y al igual que la silvicultura la cual ha pasado por varias etapas, desde una muy extensiva a la actual que es específica al sitio, en los viveros forestales ha ocurrido algo similar. Actualmente se trabaja con semillas genéticamente mejoradas, las plántulas deben ser preparadas y acondicionadas para que se adapten rápidamente a las condiciones que imperan en los distintos sitios: sectores con vientos persistentes, sectores con problemas de sequías prolongadas, sectores con riesgos de heladas tempranas o tardías, etc.

En este sentido, la fertilización está adquiriendo una mayor relevancia, porque se ha demostrado que es necesaria en cada una de las etapas de crecimiento de las plántulas, incluyendo la etapa de acondicionamiento para establecerlas en sitios con diversas limitaciones (STONE, 1980).



Foto 5: Vivero de *E. globulus* con plántulas equilibradas nutricional y fisiológicamente (Foto: J. TORO)

1.4 El sustrato

El medio de crecimiento que se utiliza en los contenedores, es habitualmente una mezcla que puede estar formada por corteza de pino radiata mezclada en diferentes porcentajes con turba, perlita o vermiculita. Actualmente, en los viveros de la VIII región, se utiliza únicamente corteza de pino y se coloca en la superficie una delgada capa de 3 a 5 mm de perlita para controlar las malezas.

A diferencia de las plantas que se producen a raíz desnuda, las cuales crecen en un suelo natural, las plantas en contenedores se enfrentan a condiciones muy diferentes de crecimiento. En primer lugar, el espacio disponible para el desarrollo de las raíces está limitado al volumen del contenedor. Esto significa que las plántulas tienen pequeñas reservas de agua disponible y nutrientes, según las condiciones imperantes en el vivero (viento, temperatura, mayor actividad fisiológica), estos recursos esenciales pueden disminuir rápidamente y generar algún tipo de estrés, ya sea hídrico o nutricional (VAN EERDEN, 1974).

Por las características inherentes de los contenedores y de la corteza utilizada (tamaño y distribución de las partículas que conforman el medio de crecimiento), en el interior de los contenedores, se forman delgadas capas de corteza fina (1-3 mm de diámetro) muy compactadas, las cuales no permiten que el agua de riego drene libremente, creando una zona saturada con agua. Esto afecta tanto el desarrollo de las raíces como la utilización plena de todo el volumen del contenedor.



Foto 6: Diferencias de crecimiento causadas por un sustrato mal preparado. Las plántulas que aparecen en primer plano, a la derecha, crecen en un sustrato con relación C/N > 60. Las de atrás, crecen en un sustrato maduro con una relación C/N < 35 (Foto: J. TORO).

La textura del medio de crecimiento, es decir, la distribución de tamaño de las partículas de corteza, tiene que ser cuidadosamente seleccionada para mantener un rango apropiado de porosidad, el que debe persistir a lo largo de todo el ciclo de crecimiento. La distribución de tamaño que ha dado buenos resultados ha sido aquella entre 2 a 10 mm. Esto permite crear el porcentaje de porosidad óptimo para mantener una aireación apropiada dentro del sustrato y facilitar el movimiento de agua y nutrientes que serán absorbidos por las raíces (VAN EERDEN, 1974; BRAGG Y CHAMBER, 1986).

Las funciones del medio de crecimiento son cuatro: i) abastecer con el agua suficiente para mantener el crecimiento y otros procesos fisiológicos de la planta, ii) mantener un nivel de aireación apropiado para permitir el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono, iii) mantener una reserva de nutrientes adsorbidos a las partículas del medio de crecimiento para apoyar el crecimiento de las plántulas entre las aplicaciones de fertilizantes, iv) permitir que las plántulas estén bien ancladas en el contenedor y mantenerlas en posición vertical. Esto está en función de la densidad aparente, rigidez y compresibilidad del sustrato (MARONEK *et al.*, 1986).

Las principales características del medio de crecimiento que deben considerarse en un vivero forestal, deben ser separadas en dos: aquellas que influyen en el crecimiento de las plántulas y aquellas que afectan la actividad operacional del vivero.

En el primer caso, para las diferentes especies de Eucaliptos, el pH debe mantenerse en un rango de 5,5 y 6,0. La principal influencia del pH se encuentra en el control de la disponibilidad de los nutrientes. También el pH afecta la actividad biológica dentro de las cavidades de las bandejas, como el tipo y número de hongos, gusanos, bacterias, etc.

Mientras más alta sea la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del sustrato (entre 40 a 60 cmol/kg), mayor será la fertilidad potencial del medio de crecimiento para el *Eucalyptus*. Los nutrientes aplicados durante la fertilización, pueden ser retenidos por esas partículas cargadas eléctricamente hasta que sean absorbidas por el sistema radicular.

La CIC puede ser definida como la suma de cationes intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio, medidos en miliequivalentes o centimoles por kilo) que un material puede absorber por unidad de peso o volumen.

Es muy importante que el sustrato no presente dificultades para rehumedecerlo. Se ha encontrado que algunos componentes, como la turba y la corteza se pueden transformar en compuestos hidrofóbicos si se les deja secar excesivamente.

Otro punto importante, es la facilidad que ofrezca el sustrato para mezclarlo con otros productos y para llenar los contenedores. A veces ocurre que los materiales que se mezclarán para formar el medio de crecimiento, presentan diferencias en densidad aparente, en el tamaño de sus partículas y en el contenido de humedad. También debe tomarse en cuenta para seleccionar el sustrato, la estabilidad dimensional que tenga. Deben evitarse aquellos sustratos que se expandan o contraigan, como ocurre con las turbas cuando se les somete a periodos de secamiento y humedecimiento.

1.5 Importancia de las Micorrizas¹

Todas las especies forestales, forman asociaciones con algunos hongos especializados que viven en sus raíces, formando asociaciones benéficas (simbiosis). Estos hongos invaden los tejidos de las raíces y forman raíces modificadas llamadas *micorrizas*. Estas aumentan significativamente la eficiencia de la absorción de nutrientes y agua. Casi todas las plantas requieren micorrizas para el crecimiento y desarrollo normal en los suelos.

Los eucaliptos, al igual que los pinos, nothofagus, piceas, normalmente están asociados con hongos ectomicorrícicos, que se caracterizan por crecer entre las células, a diferencia de otras micorrizas que crecen dentro de las células, llamadas endomicorrizas (MARX Y KENNEY, 1982).

¹ A partir de octubre 2007 el CTPF iniciara un proyecto denominados “Selección de Inóculos Biológicos y Desarrollo de Tecnologías Para su Aplicación en Viveros Forestales” cuyo objetivo es “Aumentar la eficiencia de los viveros y mejorar la calidad morfológica y fisiológica de las plantas forestales de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* mediante la aplicación de inóculos biológicos”. Para ello se ha propuesto:

1. Recolectar, identificar y preseleccionar inóculos biológicos específicos para pino radiata y eucaliptos globulus.
2. Seleccionar y producir inóculos biológicos específicos.
3. Determinar el impacto en vivero de las prácticas culturales sobre los inóculos biológicos.
4. Determinar y monitorear el impacto de los inóculos biológicos en el desarrollo de las plantas en terreno.
5. Desarrollar estrategias producción piloto y pre-comercialización de Biofertilizantes



El papel de las micorrizas en las dos primeras etapas de crecimiento de las plántulas, es principalmente una actividad de inicio de la simbiosis. Entre las funciones que cumplen las micorrizas en los viveros, además de la absorción de agua y nutrientes, también las protegen del ataque de hongos patógenos (TROFYMOW Y VAN DEN DRIESCHE, 1991).

Al parecer, la inoculación con hongos micorrícicos cuando la plántula entra a la etapa de endurecimiento, podría ser uno de los momentos apropiados para que la simbiosis empiece a operar, preparando las plántulas para que logren un mejor y rápido establecimiento. Estudios realizados en contenedores, han entregado resultados interesantes, al aplicar inoculaciones muy controladas con hongos ectomicorrícicos, reportando aumentos en el crecimiento y un balance nutricional más equilibrado con respecto a plántulas no micorrizadas.

Varios factores han sido identificados para explicar las diferencias observadas entre plantas micorrizadas y las no micorrizadas: mayor eficiencia en el uso del agua y nutrientes; mejor estado sanitario del sistema radicular, que les protege de agentes patógenos; facilitan la aclimatación del sistema radicular a diversos tipos y calidades de sustrato, amortiguan impactos causados por exceso de fertilizantes o de riego (ALEXANDER Y SCHROEDER, 1987).

MARX *et al.* (1989), enfatizaron que aunque el crecimiento de las plántulas ectomicorrizadas no fuera afectado o disminuyera, la supervivencia y crecimiento en terreno, son mayores que las no infectadas.



Foto 7: Cuerpos frutales de diferentes hongos micorrícicos, los cuales pueden ser inoculados al sustrato en alguna de las etapas de crecimiento en el vivero (Foto: P. CHUNG).



Foto 8: Plántula de *E. globulus* con un sistema radicular micorrizado, que ha desarrollado un volumen importante de raíces y pronta a ser enviada a terreno (Foto: I. QUIROZ).





CAPITULO 2

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LOS NUTRIENTES ESENCIALES

2.1 Nutrientes Minerales

Los elementos nutricionales son elementos minerales que las plántulas obtienen del sustrato o del suelo, dependiendo del tipo de producción utilizado: en contenedores o a raíz desnuda. El término *nutriente* se emplea para referirse a un elemento esencial y el término *mineral* se refiere más bien a un compuesto que a un grupo de elementos simples. Son elementos esenciales para las plantas siempre y cuando cumplan con los siguientes requisitos (EPSTEIN, 1972):

- a) Cuando no está en el medio de crecimiento o se encuentra en una concentración tan baja, que la planta no puede completar todas las fases del ciclo de vida y muere prematuramente.
- b) Cada elemento debe tener una función específica y no puede ser reemplazado por otro.
- c) El elemento debe ejercer un efecto directo en el crecimiento y metabolismo de la planta.

2.2 Nutrientes Esenciales

Hasta ahora se han identificado trece elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. Seis de ellos se clasifican como macronutrientes y siete como micro elementos. Los macronutrientes son necesarios en cantidades relativamente elevadas. Los micronutrientes o elementos traza, también son muy importantes para el crecimiento de las plántulas pero son necesarios en cantidades menores.

No sólo es importante la concentración total de cada elemento, sino que también la proporción relativa de cada uno. El cuadro 1 indica las formas iónicas en que son absorbidos los nutrientes por las plantas y las concentraciones normales que se encuentran en los tejidos de las plantas. Estos elementos realizan funciones bioquímicas que son fundamentales para que las plantas se desarrollen en forma óptima.

Cuadro 1: Elementos esenciales diferenciados en macro y micro nutrientes (EPSTEIN, 1972).

Elementos Esenciales	Símbolo químico	Peso atómico	Peso Equivalente	Concentración normal en tejidos (Peso seco %)
Macro nutrientes				
Nitrógeno	N	14,0	4,7	1,5
Nitrato	NO ₃ ⁻	62,0	62	nd
Amonio	NH ₄ ⁺	18,0	18	nd
Fósforo	P	31,0	10,3	0,2
Fosfato	H ₂ PO ₄ ⁻	97,0	97	nd
Potasio	K	39,1	39,1	1
Calcio	Ca	40,1	20	0,5
Magnesio	Mg	24,3	12,2	0,2
Azufre	S	32,1	8	0,1
Sulfato	SO ₄ ²⁺	96,0	48	n d
Micro nutrientes				
Hierro	Fe	55,8	18,6	0,01
Manganeso	Mn	54,9	27,5	0,005
Zinc	Zn	65,4	32,7	0,002
Cobre	Cu	63,6	31,8	0,0006
Boro	B	10,8	3,6	0,002
Cloro	Cl	35,5	35,5	0,01
Molibdeno	Mo	96	32	0,00001

n.d = no determinado

2.3 Absorción y Utilización de Nutrientes

Una vez que los fertilizantes se han incorporado al sustrato mediante el fertirriego, el agua y los nutrientes forman una solución acuosa denominada “*solución – suelo*” que se desplaza por los poros del sustrato. Allí, los fertilizantes se descomponen en iones. Por ejemplo, el fosfato diamónico, produce los iones amonio (NH₄⁺) y fosfato (H₂PO₄⁻); el cloruro de potasio, se disocia en los iones cloruro (Cl⁻) y potasio (K⁺); el sulfato de magnesio, produce los iones sulfato (SO₄⁻) y magnesio (Mg⁺⁺).

Estos iones se adhieren a las partículas de corteza, de turba, perlita o vermiculita que forman parte del sustrato o bien, permanecen en la solución acuosa hasta que son absorbidas por las raíces o lixiviados cuando una cantidad de agua en exceso satura el contenedor. La incorporación de nutrientes hacia el interior de la planta, se realiza principalmente a través del sistema de raíces, mediante los mecanismos de *absorción pasiva* y *absorción activa*.

Las plantas al transpirar, eliminan agua en forma de vapor hacia la atmósfera y crean un flujo continuo de agua que se desplaza desde el sustrato hacia la atmósfera (*absorción pasiva*). Las raíces absorben el agua que está almacenada en el contenedor y la transportan hacia el tallo, ramillas y acículas y un alto

porcentaje sale a la atmósfera. Dentro de ese flujo de agua transpiracional, los iones son llevados hacia el interior de la raíz.

La *absorción activa* ocurre cuando los iones son transportados en contra de una gradiente de presión osmótica que se crea normalmente entre las células de la raíz y la solución acuosa ubicada en el sustrato. Las plantas pueden absorber iones en forma selectiva, independiente de la concentración de iones que existe en el entorno de las raíces. Para absorber en forma activa los iones, se requiere que la planta gaste una cantidad de energía la cual es generada por el metabolismo celular.



2.4 Macro nutrientes y Micro nutrientes

Los nutrientes minerales por definición, tienen funciones específicas y esenciales en el metabolismo de las plantas. Dependiendo de las cantidades requeridas de un determinado nutriente, este puede ser considerado como macro o micronutriente. Los macro nutrientes son: nitrógeno (N); fósforo (P); potasio (K); magnesio (Mg); calcio (Ca) y azufre (S).

Las plantas utilizan los micronutrientes en bajas concentraciones, debido a que no juegan un rol directo en la osmorregulación o en la mantención del equilibrio electroquímico. Los micros elementos conocidos a la fecha, son: hierro (Fe); manganeso (Mn); zinc (Zn); cobre (Cu); boro (B); cloro (Cl) y molibdeno (Mo).

Cada nutriente mineral, puede efectuar una variedad de funciones y algunas de estas funciones están débilmente correlacionadas ya sea con la cantidad requerida o propiedades fisicoquímicas. Un nutriente mineral, puede funcionar como constituyente de una estructura orgánica, como un activador de reacciones enzimáticas, o como un osmoregulador.

Otra clasificación, basada en las propiedades fisicoquímicas, los divide en **metales** (potasio, calcio, magnesio, fierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno) y en **no metales** (nitrógeno, azufre, fósforo, boro y cloro). Ambas son adecuadas, y dependerá del objetivo del estudio.

2.5 Quelatos

Los quelatos son compuestos orgánicos solubles que se unen a metales como el hierro, zinc, cobre, y manganeso, esto aumenta la solubilidad de los metales y facilita el abastecimiento y absorción de estos por las raíces y micorrizas de las plantas. Los quelatos naturales orgánicos que se encuentran en el suelo, son producto de la actividad de los microorganismos, los que degradan la materia orgánica del suelo y los residuos que cubren la superficie. Los exudados de las raíces, también son capaces de formar complejos con los microelementos.

Una plántula vigorosa con un sistema radicular funcionando en óptimas condiciones, debe ser capaz de producir quelatos en una etapa avanzada, debido a la actividad de sus raíces que actúan sobre la materia orgánica.

La producción de quelatos sintéticos, permite aplicar estos microelementos a la fertilización en contenedores, para suplir algunas deficiencias o para mantener un equilibrio adecuado entre los diferentes microelementos.

El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) es un quelato sintético que se usa frecuentemente en viveros cuyos sustratos tienen pH ácidos. Los fertilizantes con micro nutrientes quelatados, están disponibles en el mercado en diversas formulaciones, con nutrientes simples o en mezclas.

2.6 Rol Fisiológico de los Nutrientes

La principal función de los nutrientes nitrógeno, azufre y fósforo, es servir como constituyentes de proteínas y ácidos nucleicos (LARCHER, 2001). Otros minerales, como el magnesio, funcionan como constituyentes de estructuras orgánicas. Por otra parte, el calcio juega un rol muy importante en la estabilización de las membranas y en la integridad de las células. El potasio, es el único macro nutriente mineral que no es constituyente de estructuras orgánicas, sin embargo, participa en procesos de osmorregulación dentro de las vacuolas (cuadro 2).

El nitrógeno por ejemplo, puede ser absorbido por las raíces como nitrato o como amonio. La mayor parte del amonio, participa en la formación de compuestos orgánicos mientras que el nitrato es móvil en el xilema y puede ser almacenado en las vacuolas de las raíces, tallos y ramas y otros órganos de almacenamiento (MENGEL Y KIRKBY, 1987).

El azufre, por otra parte, es un constituyente de los aminoácidos: cisteína y metionina y por lo tanto, de las proteínas. Ambos aminoácidos son precursores de otros compuestos y actúan como coenzimas y productos secundarios.

Cuando los niveles de fósforo son bajos, se observa una disminución de la mayoría de los procesos metabólicos, como por ejemplo, un desequilibrio en el balance de las fitohormonas.

El cuadro 2 resume las principales funciones de los macro y micro nutrientes. Todos los micro elementos, con excepción del cloro, participan como constituyentes de estructuras orgánicas, predominantemente en las moléculas enzimáticas (KOSLOWSKI *et al.*, 1999).

Cuadro 2: Funciones bioquímicas realizadas por los diferentes elementos esenciales y su ubicación en grupos con actividades específicas (MENDEL Y KIRKBY, 1987; LARCHER, 2001).

Elementos esenciales	Forma utilizada por las plantas	Funciones bioquímicas en las plantas
Grupo 1 Carbono (C) Hidrógeno (H) Oxígeno (O) Nitrógeno (N) Azufre (S)	En la forma CO_2 , H_2O , O_2 , NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} los iones de la solución del medio de crecimiento, y gases de la atmósfera	Constituyentes mayores de la materia orgánica. Elementos esenciales de grupos atómicos involucrados en procesos enzimáticos. Asimilación por reacciones de redox
Grupo 2 Fósforo (P) Boro (B)	En la forma de fosfatos, ácido bórico o borato de la solución del medio de crecimiento	Esterificación por grupos alcoholes nativos. Los esteres fosfato están involucrados en reacciones de transferencia de energía.
Grupo 3 Potasio (K) Magnesio (Mg) Calcio (Ca) Manganeseo (Mn) Cloro (Cl)	En la forma de iones incorporados en la solución del medio de crecimiento	Funciones no específicas estableciendo potenciales osmóticos. Reacciones más específicas para la activación de enzimas llegue a un nivel óptimo. Equilibra aniones difundibles y no difundibles. Une elementos afines para ejecutar reacciones
Grupo 4 Hierro (Fe) Cobre (Cu) Zinc (Zn) Molibdeno (Mo)	En forma de iones o quelatos, dentro de la solución	Se encuentran presentes en forma de quelatos incorporados a grupos fotosintéticos. Favorecen el transporte de electrones al cambiar sus valencias

2.7 Determinación de la Concentración de Nutrientes

Cualquier programa de fertilización que se diseñe para aplicarlo a viveros que produzcan plantas en contenedores, debe tratar de mantener un equilibrio en el sustrato, entre las diferentes concentraciones de los distintos nutrientes que participan. Este programa debe ser dinámico y modificarse de acuerdo a los cambios que experimenten las plántulas durante todo el periodo de viverización. Antes de modificar las prescripciones, es necesario enviar a un laboratorio confiable, muestras de las plántulas y luego analizar las concentraciones de los distintos elementos esenciales.

También es recomendable, seleccionar al azar diez o quince bandejas distribuidas en el vivero y cubriendo la mayor cantidad de situaciones diferentes que el viverista conozca. En cada bandeja, pueden establecerse en forma permanente mini parcelas, de diez plántulas y medirlas semanalmente (altura y diámetro de cuello o dac, desde el segundo mes).

La *concentración de cada nutriente* mineral en la solución del medio de crecimiento, es el aspecto más importante de la fertilización en el vivero. Una *concentración muy baja* reducirá el crecimiento de las plantas, por el contrario, *altas concentraciones*, especialmente de nitrógeno, producirán plántulas suculentas que serán dañadas fácilmente en periodos de bajas temperaturas.

Los viveros que producen plantas en contenedores, tienen la posibilidad de promover un rápido crecimiento en las plántulas, cuando aplican elevadas tasas de fertilización nitrogenada. Sin embargo, la parte aérea será forzada a desarrollarse en desmedro del sistema radicular. Cuando se aplican tasas elevadas de fertilización, se acumula en el sustrato un exceso de nutrientes, lo que puede causar problemas de toxicidad, dañando a las raíces principalmente. La absorción de nutrientes es elevada porque las condiciones ambientales existentes en el sustrato: alta temperatura (entre 20 y 25 °C), elevados niveles de humedad (capacidad de campo < 1/3 bar) y pH óptimo (rango entre 5,5 y 6,5), propician la rápida absorción de iones.

A medida que aumenta la concentración de cada nutriente, el comportamiento de la planta mejora, hasta que llega a la zona donde se obtiene el máximo rendimiento. Alcanzado un cierto nivel de concentración, la planta llega a un punto en donde puede intoxicarse debido a concentraciones excesivas y el crecimiento (altura, peso seco o cualquier otra variable), disminuye y la planta puede incluso morir (figura 1). El efecto Steenbjerg se produce en la parte baja de la curva (A), se observa un aumento del rendimiento, debido al incremento de la concentración de un determinado nutriente. Este fenómeno ha sido observado que ocurre en los micro elementos zinc y cobre.

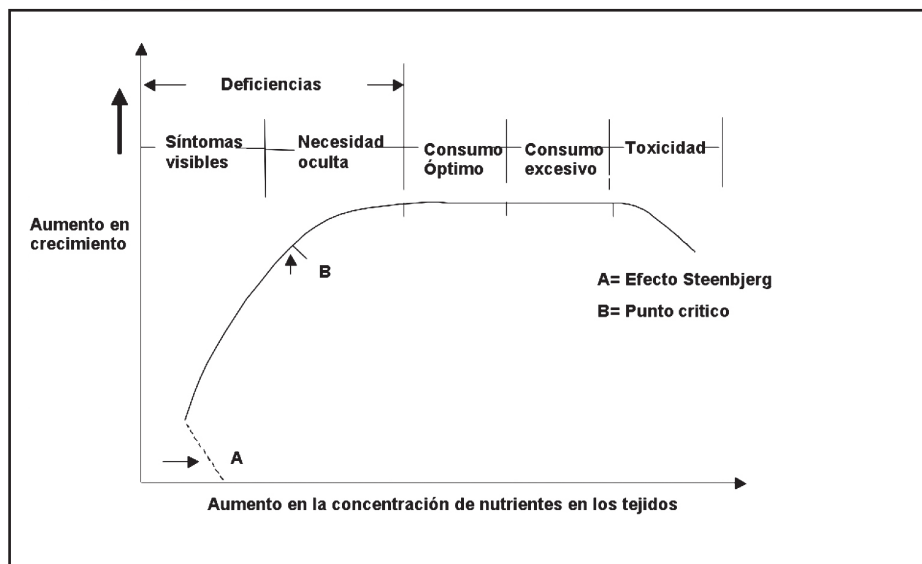


Figura 1: A medida que aumenta la concentración de un elemento esencial, en rangos definidos, aumenta el crecimiento de la plántula. Un exceso o un déficit en la concentración de un determinado elemento, afecta de inmediato el rendimiento, el cual disminuye (CHAPMAN, 1967).

Las concentraciones de nutrientes minerales, pueden describirse de varias maneras: como partes por millón (ppm), miligramos por litro (mg/l), milimoles por litro (mmol/l), y también en miliequivalentes por litro (meq/l). Las más utilizadas son ppm y mg/l, y son útiles para describir y comparar regímenes nutricionales, en cambio las unidades de peso o volumen (miligramos por litro) son útiles para calcular las dosis de fertilización.

La conversión entre partes por millón y miligramos por litro es equivalente, porque un litro de agua pesa 1 kilo. La equivalencia para soluciones acuosas es:

$$1 \text{ ppm es igual a } 1 \text{ mg/l}; 1 \text{ miligramo} = 0,001 \text{ g}$$

2.8 Nivel de Nitrógeno Como Base Para Prescribir Dosis de Fertilización

El nitrógeno (N) es un nutriente que se aplica con mayor frecuencia y en mayor cantidad en los viveros, porque es fundamental para el crecimiento de las plantas.

La mayoría de los programas de fertilización toma como base la concentración de este elemento, de este modo, la concentración de todos los otros nutrientes se establecen en relación al nitrógeno. Sin embargo, la determinación de la concentración óptima de nitrógeno, para cada etapa de crecimiento, es un tema aún muy discutido, que se refleja en el amplio rango de concentraciones utilizadas que se encuentran en la literatura (cuadro 3).

La mayor parte de la información que se utiliza en los viveros forestales, proviene de especies hortícolas, en donde se aplican dosis elevadas de nitrógeno, sobre 200 ppm o más. En este caso, como las aplicaciones se efectúan en forma periódica y no en aplicaciones continuas, como ocurre en los viveros forestales, aplicando fertilizaciones diarias, o con una frecuencia de dos o tres días, permite disminuir bastante las concentraciones utilizadas en relación con las fertilizaciones periódicas empleadas en la horticultura.

Se ha detectado una gran diferencia de criterios para seleccionar las concentraciones de N que se aplican en los diferentes viveros. En una encuesta realizada en viveros de EE.UU., se encontró que las concentraciones de nitrógeno variaban entre 55 a 260 ppm, durante el período de crecimiento rápido.

En coníferas, existe un consenso relativo acerca de la concentración óptima de N. Por ejemplo, INGESTAD (1979) recomendó usar concentraciones de 20 a 50 ppm en coníferas, PHILLION Y LIBBY (1984) en cambio, aconsejan usar una concentración constante de 100 ppm, a lo largo de las tres etapas de crecimiento. Sin embargo, la tendencia general es usar durante el período de crecimiento rápido una concentración entre 100 a 150 ppm.

Cuadro 3: Rango de concentraciones de nitrógeno que se aplican en viveros para diferentes especies forestales, en contenedores durante las tres etapas de crecimiento.

Especies	Crecimiento Inicial	Crecimiento rápido	Endurecimiento	Fuente
Pinus spp	229	229	45	MULLIN Y HALLET (1983)
Picea	112	112	45	CARSON (1983)
Pino oregón	62	100	62	PETERS BULLETIN PTB 114 (1994)
Pinus sylvestris	0	20 - 50	0	INGESTAD (1979)
Picea abies	0	60 - 100	0	INGESTAD (1979)
Varias especies	50	100	25	MULLIN Y HALLET (1983)
Varias especies	50	100	25	CARLSON (1983)
Varias especies	0	223	20	TINUS Y MACDONALD (1979)
Varias especies	75- 100	100 - 150	25 - 50	PETERS BULLETIN PTB 114 (1994)
Varias especies	12 - 125	55 - 260	25 - 50	CONTAINER TREE NURSERY (1984)
Varias especies	0	28 - 300	0	BRIX Y VAN DRIESCHE (1974)
Varias especies	0	50 - 300	0	MORRISON (1974)

Para que cada viverista prepare sus propias soluciones de fertilizantes, el cuadro 4 entrega a modo de referencia, los niveles óptimos para los 13 elementos esenciales que deben ser incluidos en las soluciones de fertilizantes líquidos y para una fertilización constante. Como puede observarse en el cuadro, hay grandes diferencias de opinión entre los expertos para establecer los niveles óptimos nutricionales para las diversas etapas de desarrollo de las plántulas.

2.9 Balance Nutricional

Un aspecto importante que no debe dejarse de lado, es la de mantener un equilibrio entre los nutrientes, al preparar una prescripción de fertilización, esto es, mantener las proporciones entre ellos (INGESTAD, 1981). Esto es más prioritario que preocuparse de la concentración absoluta de cualquiera de los elementos que se empleen. Este balance es necesario, porque un exceso de cualquiera de ellos, afectará la absorción de los otros elementos que se encuentren en una concentración más baja.



El cuadro 4 muestra por una parte, el rango más apropiado para cada nutriente, y por otra parte, las proporciones ideales que deben mantenerse entre los nutrientes. El nitrógeno es la base de las prescripciones y todos los otros elementos deben colocarse de acuerdo a la relación que tiene con este elemento. Por ejemplo, el fósforo mantiene una relación de 1 a 0,2 con respecto al nitrógeno; en cambio el potasio, mantiene una relación de 1 a 0,55 y el azufre de 1 a 0,09. Esto es necesario para mantener el equilibrio iónico en la solución.

Cuadro 4: Concentraciones de nutrientes y proporciones considerando el nitrógeno como dentro del rango considerado como adecuado (INGESTAD, 1981).

Macro nutrientes	% (*)	Proporciones entre los nutrientes
N	1,40 - 2,20	1
P	0,20 - 0,40	0,2
K	0,40 - 1,50	0,55
Ca	0,20 - 0,40	0,06
Mg	0,10 - 0,30	0,05
S	0,20 - 0,30	0,09
Micro nutrientes	ppm	
Fe	60 - 200	0,007
Mn	100 - 250	0,004
Zn	30 - 150	0,0003
Cu	4,0 - 20	0,0003
Mo	0,25 - 5	0,00007
B	20 - 100	0,002
Cl	nd	0,0003

(*) Intervalo adecuado en brotes tiernos

Por otra parte, el balance iónico que tiene una solución nutritiva, afecta el pH de la solución, lo que produce otros problemas laterales. Si la solución de fertilizantes por ejemplo, tiene incorporado nitrato NO_3^- , los cationes potasio K^+ , calcio Ca^{2+} y magnesio Mg^{2+} , pueden ser absorbidos en mayores cantidades. En cambio, si la solución contiene amonio NH_4^+ la absorción de potasio u otro catión tiende a inhibirse.

Por otra parte, cuando está presente el ión amonio y ausente el ión nitrato, el sistema radicular de las plantas puede dañarse, por lo que es preferible, usar ambos iones en la solución, pero en forma proporcionada. Según INGESTAD (1981), es preferible aplicar una concentración de amonio para lograr un mejor crecimiento de las plántulas. Esto sin embargo, debe probarlo a pequeña escala cada viverista, para establecer las proporciones más apropiadas.

Hechas estas consideraciones, acerca del balance nutricional, es necesario tomar en cuenta que en cada fase de crecimiento, los requerimientos nutricionales son diferentes sólo para nitrógeno, fósforo y potasio. El resto de los macro elementos (Ca, Mg y S) y los micro elementos (Fe, Mn, Cu, B, Zn, Mo y Cl) son aportados en las mismas concentraciones durante las tres etapas de crecimiento (TINUS Y MACDONALD, 1979).

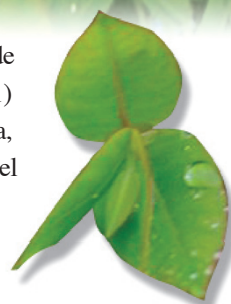
Los elementos fósforo y potasio, son aplicado en mayor concentración en la primera etapa, para potenciar el crecimiento de las raíces y apoyar los procesos fisiológicos. El nitrógeno está presente en una cantidad menor, pero es necesario para el desarrollo armónico de las plántulas. El potasio es un elemento que se aplica a altas tasas durante todo el período de crecimiento. El cuadro 5, resume la información entregada por los investigadores TINUS Y MACDONALD (1979), quienes han influido significativamente en el desarrollo de la nutrición de plantas forestales producidas en viveros utilizando contenedores.

La influencia de ambos investigadores, durante un prolongado periodo de tiempo, no significa que quede poco por investigar, al contrario, cada día se requiere mejor información para manejar nuevas especies, considerando ahora las interrelaciones que se han detectado entre el sitio, la genética y la nutrición.

Cuadro 5: Niveles de referencia para fertilizar en cada una de las etapas de crecimiento (TINUS Y MACDONALD, 1979).

Dosis óptimas de aplicación (ppm) para cada una de las fase de Crecimiento.			
Nutrientes	Inicial	rápido	Endurecimiento
Macro nutrientes			
Nitrógeno (N)	50	150	50
Fósforo (P)	100	60	60
Potasio (K)	100	150	150
Calcio (Ca)	80	80	80
Magnesio (Mg)	40	40	40
Azufre (S)	60	60	60
Micro nutrientes			
Fierro (Fe)	4	4	4
Manganeso (Mn)	0,8	0,8	0,8
Cinc (Zn)	0,32	0,32	0,32
Cobre (Cu)	0,15	0,15	0,15
Molibdeno (Mo)	0,02	0,02	0,02
Boro (B)	0,5	0,5	0,5
Cloro (Cl)	4	4	4

El consumo excesivo de cualquiera de los 13 elementos minerales esenciales, puede ser dañino para las plantas, generando toxicidades por nitrógeno u otro mineral. SWAN (1971) considera que valores foliares superiores a 2,5 % de N representa una concentración excesiva, afecta la morfología de las plantas, el exceso de crecimiento de la parte aérea, a expensas del crecimiento de la raíz.



TIMMER Y ARMSTRONG (1987) informaron que altas tasas de fertilización con N pueden reducir el peso y la fibrosidad del sistema radical, también es afectada la proporción entre raíz y parte aérea (CORNETT, 1982). Al aplicar concentraciones más bajas, TORBERT *et al.* (1986), encontraron que las plantas de pino taeda, desarrollaron sistemas radicales más largos, fibrosos y mayor grado de ramificación. Cuando los tejidos se encuentran muy suculentos y el ritmo de crecimiento está aun en la fase de desarrollo en el primer mes de otoño, puede aumentar la posibilidad de que las plántulas sean dañadas por el frío. GILLIAM *et al.* (1980) encontraron en plantas de *Acer rubrum*, que los niveles elevados de N (150 a 300 ppm) originaron flujos secundarios de crecimiento que retrasó la defoliación.

ARONSSON (1980) estudió la resistencia ante heladas de *Pinus sylvestris* y encontró una clara correlación entre la concentración de N foliar y el daño por frío, las plantas con un nivel de N entre 1,3 y 1,8 % sufrieron menos daños que aquellas con niveles mayores de 2%. Las plantas de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*), presentaron una mayor resistencia al frío cuando tenían concentraciones foliares entre 1,3 a 1,4 %.

Los elevados niveles de sales fertilizantes que se encuentran en el medio de crecimiento, afectan el desarrollo de algunas micorrizas en las plantas que se producen en contenedores. En un experimento en donde se aumentó la concentración de N, la inoculación micorrícica disminuyó linealmente con el aumento de este nutriente (TORBERT *et al.*, 1986).

Para calcular los niveles nutricionales de cada elemento en forma individual, multiplique el nivel de N por el nivel del elemento que desee encontrar. Por ejemplo, si desea determinar el nivel de K cuando el nivel de N es 2,0 %, multiplique 2,0 % por 0,55 (que representa la proporción entre N y K) lo que da 1,1 % (cuadro 4). Estos valores varían entre las diferentes especies (INGESTAD, 1981).

Otro ejemplo si desea buscar el nivel de S cuando el nivel de N es 2,0%, multiplique por 0,09 y le dará 0,18 %. En caso de no tener este porcentaje, será necesario agregar el elemento que se encuentra en la menor concentración para llegar al valor considerado como óptimo. En el caso si la concentración de azufre es inferior a 0,18 %, debe agregarse algún fertilizante azufrado, para llegar a la proporción requerida, lo que permitirá equilibrar con la concentración de nitrógeno.



CAPITULO 3



REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA ESPECIE

Cada especie tiene sus propios requerimientos nutricionales a lo largo de todo su ciclo de vida, lo que se inicia desde la etapa de vivero (MENGEL Y KIRKBY, 1987). Algunos viveristas prefieren aplicar pequeñas dosis de fertilizantes sólidos al inicio de la temporada y lo hacen antes de llenar los contenedores con sustrato. Para ello, mezclan el sustrato con cantidades variables de superfosfato triple, urea, calcio o magnesio o bien los mezclan con fertilizantes de entrega lenta como Osmocote y Magamp, generalmente en cantidades que varían entre 1 a 3 kg/m³ de sustrato.

Como ocurre frecuentemente, las preguntas y respuestas acerca de: ¿Qué?, ¿Cuándo? ¿Cómo aplicar?, son muy contradictorias, incluso entre los especialistas. Por eso es recomendable, hacer pequeñas pruebas de todo lo nuevo que se desee aplicar en el vivero o de las modificaciones que quieran implementarse, antes de iniciar una aplicación masiva.

En todo caso, conviene recordar, que la mezcla se debe hacer con mucho cuidado, para no romper las partículas de fertilizantes, de vermiculita, o los fertilizantes peletizados de entrega lenta. Al mismo tiempo, debe tomarse en cuenta que siempre está presente el problema de la distribución heterogénea de los fertilizantes, debido a las diferencias en densidad, tamaño, textura y volumen entre el sustrato y el fertilizante que se agrega.

Para aplicar fertilizantes líquidos, pueden considerarse dos criterios: una fertilización “periódica” o una “frecuente”. En el primer caso, se efectúa una aplicación más concentrada de nutrientes, con una programación que puede ser semanal, quincenal, o según la calendarización que cada propietario decida. En cambio, en la fertilización frecuente, se aplica en forma más continuada, diariamente, cada dos o tres días, aplicando dosis más bajas, y combinándolas con algún riego (fertirriego). En este caso, la concentración de nutrientes es más diluida y se acerca a la concentración que se desea mantener en el sustrato.

3.1 Fecha de Siembra, Primera Fertilización

Existen opiniones muy disímiles con respecto a la fecha de la primera aplicación de fertilizantes. Algunos opinan que no es necesaria una fertilización muy temprana, porque la semilla tiene reservas suficientes para auto alimentarse durante las primeras semanas y no es necesario aplicar fertilizantes hasta el inicio de la etapa de crecimiento acelerado.

Otros autores, como BARNETT Y BRISSETTE (1986), indican que un atraso en la primera fertilización puede tener un efecto negativo en el desarrollo de las plántulas; un atraso de tres semanas en la aplicación, puede significar una pérdida de 20 % en el peso seco de las plantas.

Si las plántulas van a permanecer un periodo corto en el vivero, la fertilización en el momento de la siembra puede ser aconsejable. Aún si los germinantes no pueden utilizar efectivamente los nutrientes en este período tan temprano de desarrollo, estos nutrientes están disponibles tan pronto se les requiera, los cuales pueden acelerar el crecimiento. Si el periodo corto de crecimiento no es crítico, puede ser beneficioso desde el punto de vista del manejo sanitario, atrasar la fertilización hasta después de la germinación.

3.2 Fase Inicial de Crecimiento

Esta fase abarca desde la germinación hasta el crecimiento de la planta a través de su estado cotiledonar. En este período, la semilla aporta los nutrientes guardados en sus reservas, razón por la cual, en muchos viveros no se aplican fertilizantes. Tradicionalmente agregar nutrientes durante la germinación, no ha sido recomendado, porque se asume que estos son suministrados por la semilla y pueden aumentar el riesgo de ataque por el complejo de hongos que producen el *dumping off*.

La aplicación y mezcla de una pequeña cantidad de fertilizantes al sustrato al momento de la siembra, permite entregar los nutrientes requeridos cuando la raíz emerge e inicia su crecimiento. ETTER (1971) señaló que una fertilización temprana, en que se aplicó 50 a 60 ppm de nitrógeno influyó en un aumento significativo del peso seco total de la planta.

La concentración de N que se aplique en esta etapa debe ser moderada. CARLSON (1983) indica que la proporción de **N: P: K** debería ser **1:5:1**. La mayor cantidad de fósforo tiene como función favorecer la actividad del sistema radicular, para que pueda tener el volumen radicular suficiente que facilite la absorción de nutrientes en la siguiente etapa, que empieza cuando las plántulas han adquirido un tamaño entre 5 a 10 cm de altura. Algunos investigadores opinan que los fertilizantes nitrogenados que aportan nitrato, deberían preferirse a aquellos que entregan amonio.

3.3 Fase Intermedia o de Crecimiento Acelerado

Esta corresponde a una fase de crecimiento rápido, en donde las plántulas crecen a una tasa exponencial y requieren de un oportuno y abundante suministro de nutrientes. Aquí la proporción entre **N: P: K** varía con respecto a la etapa anterior de crecimiento y se recomienda aplicar una relación **3:1:1**. El papel principal recae ahora, en el nitrógeno y el fósforo pasa a un segundo nivel de importancia, el que participa activamente en el desarrollo de la parte aérea, puesto que el sistema radicular está apoyando el crecimiento de la parte aérea. La segunda etapa, se inicia cuando la planta tiene entre 5 a 10 cm de altura y pasa a la etapa de acondicionamiento, cuando la plántula tiene entre 24 a 28 cm. Se piensa que el nitrógeno en forma de amonio estimula el desarrollo de la parte aérea (TINNUS Y MCDONALD, 1979; LANDIS *et al.*, 1989).



Foto 9: Plántulas en la etapa de crecimiento acelerado. En este período, se aplica nitrógeno en concentraciones más elevadas, manteniendo una proporción con fósforo y potasio (Foto: J. TORO).

3.4 Fase de Endurecimiento

La fase de endurecimiento, teóricamente se inicia cuando finaliza el crecimiento de la parte aérea o disminuye su tasa de crecimiento en altura y aumenta la de diámetro. Siempre la plántula intenta crecer, aunque lo hace a una tasa más reducida. Sin embargo, esto no ocurre con las especies del genero *Eucalyptus*, las cuales crecen durante todo el año y sólo cuando las temperaturas disminuyen la tasa de crecimiento disminuye. De manera que es necesario, mediante el riego, controlar la disminución de la tasa de crecimiento. Para ello, la frecuencia y la cantidad de riego disminuye, lo que permite a la planta entrar a un proceso de endurecimiento, en donde disminuye la tasa de crecimiento en altura y se mantiene o aumenta el desarrollo en diámetro.



Foto 10: Plántulas en etapa de endurecimiento. El aporte de nitrógeno es bajo, y aumenta el de fósforo y potasio, manteniendo una concentración similar de microelementos (Foto: J. TORO).

En esta etapa, la proporción entre **N:P:K** con respecto a la etapa anterior, cambia entre **1:3:5** y **1:4:5**. En este período, *aumenta la concentración de K y P y disminuye la de nitrógeno*. Algunos investigadores, como SCARRAT (1986), creen que no es necesario usar dosis diferentes de fertilizantes para cada una de las etapas de crecimiento y opinan que es preferible utilizar un fertilizante estándar de propósito general.

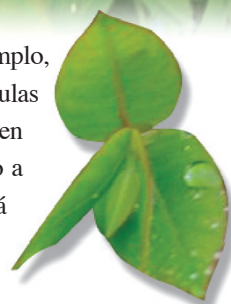
Sin embargo, otros especialistas, opinan que las especies forestales reaccionan en forma distinta y requieren diferentes regímenes de fertilización. TINUS Y McDONALD (1979) publicaron recomendaciones específicas para diversas especies forestales.

3.5 Fertilizantes en el Mercado Nacional

En el mercado nacional se encuentra actualmente una variada cantidad de fertilizantes disponibles, en diferentes composiciones y formas. Los hay aquellos granulados, que pueden aplicarse a los contenedores al inicio de la temporada, cuando las plántulas están en sus primeros estadios de crecimiento o bien para mezclarlos con el sustrato antes de llenar las bandejas.

Cuando se desea preparar mezclas propias, especiales, específicas para cada vivero, se recurre a fertilizantes granulados, en polvo o líquidos. Las líneas de fertilizantes solubles, como las ofrecidas por Ultrasol y Peters Professionals, son las más requeridas. Sin embargo, casi siempre es necesario suplementar las dosis con algún otro elemento que la planta puede requerir en determinados momentos, como ocurre con calcio y los microelementos hierro, zinc, boro y cobre.

También se encuentran en el mercado fertilizantes de entrega lenta, como por ejemplo, Osmocote y MagAmp, que liberan los nutrientes en tasas variables, según el tamaño de las partículas y pueden estar liberando nutrientes hasta 18 meses. Al igual que los fertilizantes granulados, pueden mezclarse con el sustrato, para que las plántulas reciban los diferentes nutrientes, de acuerdo a la tasa de liberación que tienen las cápsulas. La liberación de nutrientes de cada cápsula, está regulada por la temperatura y humedad predominante en el sustrato.



La línea de fertilizantes de acción foliar, se utilizan generalmente en los viveros, especialmente cuando es necesario corregir rápidamente deficiencias de micro elementos, o deficiencias severas de nitrógeno. Algunas empresas fabrican fertilizantes solubles que se aplican en conjunto con el riego. El fertirriego es empleado en casi todos los viveros nacionales, ocupando principalmente la línea Ultrasol grado superior y los productos de la línea Peters.

3.6 Fertilizantes Solubles, Granulados, Entrega Lenta, Preparaciones Especiales

Una práctica común en la horticultura, es la incorporación de fertilizantes de liberación lenta, o de fertilizantes granulados, aplicándolos sobre la superficie del contenedor. Sin embargo, la utilidad de esta práctica, está limitada por la pequeña área superficial de cada contenedor. En viveros se utilizan fertilizantes en forma sólida y líquida. Los sólidos son principalmente granulares, otros se presentan como polvo, aunque actualmente se les somete a un proceso para granularlos, como ocurre con la boronatrocalcita. Aunque se encuentran disponibles fertilizantes que se presentan en forma de pastillas, las que son muy poco utilizadas.

Los fertilizantes sólidos a menudo, se mezclan con el sustrato y para ello se utiliza urea, superfosfato triple, carbonato de calcio u otro fertilizante. También pueden disolverse antes de aplicarlos vía fertirriego, en ocasiones, es necesario suplementar a los fertilizantes líquidos, agregando uno o varios macro nutriente para aumentar la concentración de ellos. Esto ocurre habitualmente en la etapa de crecimiento acelerado y en la etapa de endurecimiento, donde se agregan dosis de N en base a urea, o bien nitrato de amonio y para frenar el crecimiento, se aplica nitrato de calcio.

Entre los fertilizantes granulados de mayor uso en los viveros, se encuentran los nitrogenados, fosfatados y potásicos, el cuadro 6 resume dicha información. Los fertilizantes de liberación lenta más empleados en nuestro país son el Osmocote y MagAmp. Se presentan en cápsulas de diferente tamaño y pueden ser liberados en periodos que fluctúan entre 6 a 18 meses. Osmocote (18-6-12) y MagAmp, han funcionado bien en la mayoría de los viveros, incorporándolos al sustrato antes de llenar las bandejas.

La desventaja mayor radica en que los viveristas aplican dosis altas y se producen plántulas muy suculentas, especialmente cuando bruscos cambios de temperatura y humedad aceleran la entrega de los fertilizantes. Esto limita al viverista en el control del crecimiento en altura y dificulta el endurecimiento de las plántulas, cuando se desea hacerlo. Esto no es tan grave cuando las plantas se establecen en primavera y no es necesario el endurecimiento de las plántulas.

Otro de los inconvenientes que presenta el empleo de fertilizantes de entrega controlada, es que no puede controlarse el crecimiento si por alguna razón, las plantas adquieren un ritmo de crecimiento más acelerado. La aplicación de riegos abundantes que lixivien los nutrientes y disminuyan la concentración de nutrientes en el sustrato, es una alternativa para eliminar el exceso de sales, pero esa medida afectará la actividad fisiológica de las plántulas. Los fertilizantes que se utilizan comúnmente en los viveros, tienen diversas características que es necesario conocer para emplearlos más eficientemente.

Los fabricantes de fertilizantes deben garantizar el contenido de los tres macroelementos más comúnmente utilizados, nitrógeno, fósforo y potasio (N-P-K) y esta información debe estar registrada en el envase. El nitrógeno (N), se especifica como porcentaje, en cambio, tanto el fósforo (P) y el potasio (K), se especifican como la forma oxidada del elemento, el P como porcentaje de P_2O_5 y el K como porcentaje de K_2O .

Un fertilizante **20:15:30** contendrá **20 %** de N, **15 %** de P_2O_5 (6,5% de P) y **30 %** de K_2O (24,9% de K).

Los viveristas también tienen la posibilidad de mezclar productos, agregando diversas cantidades de componentes químicos de grado técnico, de acuerdo al régimen óptimo para cada especie, al tipo de sustrato y a la composición del agua que utilizan. El cuadro 6 resume la información acerca de los fertilizantes que se encuentran disponibles en el mercado nacional.

Cuadro 6: Principales fertilizantes granulados que se encuentran en el mercado nacional.

Fertilizantes		Fórmula química	Contenido %	
			principal	secundario
Nitrogenados				
Amidicos	Urea	$CO(NH_2)_2$	46	0
Nítricos	Nitrato de calcio	$Ca NO_3$	15,5	19 Ca
	Nitrato de potasio	KNO_3	16	44 K
Nitro amoniacales	Nitrato de amonio	NH_4NO_3	35	0
Fosfatados				
Solubles	Superfosfato triple	$Ca(H_2PO_4)_2$	46	14 Ca
	Fosfato diamónico	$(NH_4)_2 HPO_4$	46	18 N
	Fosfato monoamónico	$(NH_4) H_2PO_4$	50	10 N
Poco soluble	Rhenania	$Ca_3(PO_4)_2 + CaSiO_4$	34	27 Ca
	Cloruro de potasio	KCl	60	10 Cl
Potásicos	Sulfato de potasio	K_2SO_4	50	17 S
	Nitrato de potasio	KNO_3	44	16 N
	Salitre potásico	$KNO_3 \times NaNO_3$	14	44 K
Magnésicos	Sulfato de magnesio	$Mg SO_4$	17	12 S
Azufrados	Sulfato de calcio	$Ca SO_4 \times 2H_2O$	18	4 Ca
Aportan hierro	Sulfato ferroso	$FeSO_4 \times 7 H_2O$	20 Fe	11,5 S
	Quelato de hierro	Fe-EDTA	5	0
Cinc	Sulfato de cinc	$ZnSO_4 \times H_2O$	36	4 S
Cobre	Sulfato de cobre	$CuSO_4 \times 5H_2O$	25	5 S
	Quelato de cobre	Cu- EDTA	13	0
Boro	Boronatocalcita	$Ca Na B_5O_9 \times 8H_2O$	11	0
	Acido bórico	$H_3 BO_3$	17	0

El cuadro 7, muestra los factores de conversión que permiten determinar la cantidad de elemento puro o de sus respectivos óxidos, cuando preparan sus mezclas especiales. Por ejemplo, si desea conocer cuanto potasio elemental tiene un fertilizante con 46 % de K_2O , multiplique **46 x 0,8301** y obtendrá **38,18 %** de K elemental.

Actualmente se encuentran disponibles en el mercado, dos líneas de productos que se aplican en forma rutinaria a través del fertirriego en la mayoría de los viveros. Una línea es de los fertilizantes comerciales solubles, que se disuelven en agua y son inyectados en el sistema de irrigación o asperjados sobre las plantas en forma manual. Varios fabricantes proveen estos productos a muchos viveros nacionales, especialmente aquellos que disponen de sistemas de fertirriego. Estos productos se encuentran disponibles en diversos tipos, formulaciones y proporciones de macro y microelementos.



Cuadro 7: Factores de conversión.

N	x	4,4266	=	NO_3
N	x	1,2159	=	NH_4
NO_3	x	0,2259	=	N
NH_4	x	0,8224	=	N
P	x	2,2914	=	P_2O_5
P_2O_5	x	0,4364	=	P
K	x	1,2046	=	K_2O
K_2O	x	0,8301	=	K
Ca	x	1,3992	=	CaO
CaO	x	0,7147	=	Ca
Mg	x	1,6579	=	MgO
MgO	x	0,6032	=	Mg
S	x	3	=	SO_4
SO_4	x	0,3333	=	S

A modo de ejemplo, la compañía de Productos Hortícolas Scotts, ha colocado en Chile desde hace más de dos décadas, una amplia línea de productos solubles en agua denominada Peters Profesional (cuadro 8). Estos fertilizantes contienen todos los elementos esenciales, con excepción de calcio, el cual debe ser aplicado en forma separada de los otros, debido a las reacciones químicas adversas que ocasiona cuando se combina con otros elementos esenciales.

Uno de los fertilizantes especialmente diseñado para aplicarlo durante la primera etapa de crecimiento, es uno de los que se encuentran en la línea de los Peters, y que presentan una relación N: P: K de 9:45:15.

El alto contenido de fósforo, estimula el crecimiento de nuevas raíces; los niveles de nitrógeno son bajos, porque los requerimientos en esta etapa son menores y el potasio se aplica en nivel bajo a medio, para desarrollar las funciones bioquímicas que se definieron en el cuadro 2.

Cuadro 8: Ejemplo de la presentación de dos fertilizantes soluble Peters, para aplicarlos en las diferentes etapas de crecimiento.

Nutrientes Esenciales	Etapas de crecimiento		
	Inicial	Acelerado	Endurecimiento
	%		
Nitrógeno total	9	15	4
Amoniacal	9	13	1
Urea	0	8	3
Ácido fosfórico (P_2O_5)	45	45	25
Potasio soluble (K_2O)	15	35	35
Magnesio total (Mg)	0,1	0,2	0,3
Azufre total	0	2	2
Boro (B)	0,0068	0,0068	0,025
Cobre quelato de Cu	0,0036	0,0036	0,06
Hierro quelato de Fe	0,05	0,05	0,4
Manganeso quelato de Mn	0,025	0,025	0,06
Molibdeno Mo	0,009	0,009	0,005
Zinc quelato de Zn	0,0025	0,0025	0,06

Para preparar estas soluciones se emplearon los siguientes fertilizantes: urea, fosfato de amonio, fosfato de potasio, cloruro de potasio, sulfato de amonio, sulfato de magnesio, ácido bórico, molibdato de sodio y quelatos EDTA de cobre, hierro, manganeso y zinc.

En el mercado nacional esta presente una línea de fertilizantes solubles, ver ejemplo en cuadro 9, cuyas concentraciones son diferentes con respecto a las empleadas por los productos Peters. Todos ellos, no utilizan calcio para evitar reacciones químicas adversas. Además se asume que el contenido de calcio que tienen las aguas de riego, es suficiente para cumplir con los requerimientos de las especies.

Cuadro 9: Fertilizantes solubles Línea Ultrasol grado superior de SOQUIMICH (ROMAN, 2001).

Línea de Fertilizantes Solubles	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio	Calcio
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO	CaO
Ultrasol Inicial	15%	30%	15%	1%	0	0
Ultrasol de Desarrollo	18%	6%	18%	8%	2%	0
Ultrasol de Crecimiento	25%	10%	10%	1%	1%	0

Las tres líneas de Ultrasol contienen micronutrientes en las siguientes concentraciones: 0,04 % de Fe, 0,02% de Mn y Zn, 0,01 % de B, 0,01 % de Cu y 0,001 % de Mo.





CAPITULO 4



FACTORES QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA DESARROLLAR UN PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN

4.1 Análisis Químico del Agua de Riego

Antes de preparar una prescripción de fertilización, es muy importante analizar la calidad del agua que se empleará en el riego y en el fertirriego. El análisis químico, permite conocer la magnitud de las concentraciones de sales las que influyen en la conductividad eléctrica; determina el pH del agua, variable que controla la disponibilidad de nutrientes; cuantifica el contenido de carbonatos y nutrientes como nitrógeno, fósforo, calcio, azufre. Esta información facilita la preparación del régimen de fertilizantes que se aplicará.

La conductividad eléctrica, permite conocer la concentración de sales disueltas que transporta el agua y se mide en microSiemens por cm (uS/cm). El agua transporta habitualmente entre otros iones, calcio y magnesio. Sin embargo, puede transportar además una cierta cantidad de nutrientes, en cantidades que permite satisfacer los requerimientos de las plantas. En otras localidades, debido a la composición química del suelo o roca, sobre la cual el agua se moviliza, el agua transporta cantidades apreciables de nutrientes como N, P, S y Cl (JONES, 1983).

Es muy importante, solicitar a algún laboratorio competente, que haga un análisis completo del agua que se empleará en el riego, incluyendo nitrógeno, fósforo y todos los demás elementos que aparecen en el cuadro 10. Este cuadro resume las características químicas del agua usada por tres viveros forestales establecidos en la Octava Región. Cada muestra representa la condición que tenía el agua de riego en el mes de Agosto. Esta característica cambia estacionalmente, por lo que es recomendable analizar periódicamente el agua que se utiliza para el riego.

El muestreo, debe efectuarse antes de instalar el vivero para evitar sorpresas desagradables y luego analizar las aguas periódicamente (cada trimestre), tanto las que provienen de pozos o por canales abiertos. Debe solicitarse a los laboratorios especializados, que las concentraciones de las distintas sustancias contenidas en la muestra de agua sean entregadas en unidades estandarizadas, como por ejemplo, partes por millón (ppm). Es conveniente además, solicitar al laboratorio que analice el contenido de N total de las muestras, junto con la concentración de amonio y nitrato (NH_4^+ y NO_3^-).

Cuadro 10: Caracterización química del agua de riego, provenientes de tres diferentes fuentes de agua que se empleadas operacionalmente en el fertirriego.

Variables	Unidades	Viveros		
		1	2	3
pH		7,3	7,6	6,2
Conductividad Eléctrica		0,34	0,22	0,15
RAS (Rel.Ads Sodio) ajustada		1	0,8	0,2
Cationes y aniones en mg/l				
Calcio	mg/l	31	16	26,6
Magnesio	mg/l	3	9	7,05
Sodio	mg/l	15	12	4,6
Potasio	mg/l	3	3	0,78
Cloruro	mg/l	9	12	5,32
Sulfato	mg/l	10	1	0,48
Bicarbonatos	mg/l	144	98	66,5
Otras Determinaciones				
N-nítrico	mg/l	14,03	2,39	3,53
N-amoniacal	mg/l	1,26	1,19	0,56
Fósforo	mg/l	0,06	0,01	0,17
Microelementos				
Zinc	mg/l	0,07	0,1	< 0,01
Manganeso	mg/l	0,02	0,12	< 0,01
Hierro	mg/l	0,2	5,5	0,1
Cobre	mg/l	0,01	0,01	< 0,01
Boro	mg/l	0,09	0,09	0,08

mg/l = miligramo por litro

Se aprecia en el cuadro 10, que el valor del pH es débilmente ácido en la muestra 3 y débilmente alcalino en las muestras 1 y 2, hay una diferencia cualitativa importante. La conductividad eléctrica aunque presenta valores inferiores a los críticos, presenta una cierta variabilidad, la conductividad eléctrica en la muestra 1 es dos veces más alta que en la muestra 3, la calidad del agua entonces es diferente. También se encuentran diferencias en la concentración de calcio, la muestra 1 tiene 31 mg/l y la muestra 2 presenta 16 mg/l. El contenido de sulfatos y bicarbonato es más elevado en la muestra 1 que en la muestra 2 y 3. Esto influye bastante en la preparación de las prescripciones de fertilización para cada uno de los tres viveros analizados.

La ventaja de conocer esta información, radica en que el viverista puede usar los nutrientes que trae el agua para preparar su dosis, ahorrando fertilizantes. También puede, modificar el pH y la conductividad eléctrica, para llevarlos a los niveles deseados, por ejemplo, mantener un pH entre 5,5 y 6,0, hacer flocular el exceso de sales, para evitar que las plántulas no sean dañadas.

Otra variable que es necesario tomar en cuenta, porque afecta directamente a la plántula, es la concentración de nitrógeno nítrico y amoniacal y de fósforo que existe entre las muestras. Al momento de prescribir las dosis de fertilización, cada viverista debe considerar lo que ocurre con el agua que dispone para regar en su vivero. Por lo tanto, deberían generarse a lo menos dos dosis distintas.

Como resumen, para la preparación de las prescripciones de fertilización, es fundamental considerar la calidad del agua que utilizará, analizándola periódicamente, al menos al inicio del invierno, mediados de primavera y comienzos de verano. La actividad biológica que se desarrolla en los suelos, el deshielo de las nieves, el aumento de los caudales dentro de las cuencas, contribuyen a modificar la calidad de las aguas. Esta variable puede ser benéfica o nefasta para el desarrollo de las plántulas en cada vivero.

4.2 Análisis Químico y Físico del Sustrato

Es muy importante también conocer con antelación las características físicas y químicas del sustrato que se empleará en la temporada. Las propiedades físicas de este, como, el tamaño y distribución de las partículas, que constituyen la “estructura” del sustrato, controlan el movimiento de aire y agua dentro de cada una de las cavidades. El cuadro 11 muestra la composición química de tres sustratos preparados por empresas dedicadas a la comercialización de este producto. Actualmente, la única variable que se considera para evaluar la calidad del sustrato es el pH y la relación Carbono- Nitrógeno (C/N) que debe ser igual o inferior a 30. El viverista debe considerar esta información para preparar sus regímenes de fertilización.

Conocer las concentraciones de todos los elementos esenciales que trae el sustrato servirá para evitar fertilizar en exceso las plántulas durante todo el periodo de viverización.

Cuando la distribución de partículas es muy amplia, por ejemplo, se encuentran partículas con un diámetro inferior a 1 mm y partículas con diámetros iguales o superiores a 15 mm de partículas, las partículas más pequeñas se redistribuyen en el interior de cada cavidad y tienden a formar una capa a cierta profundidad que demora el movimiento de agua hacia los sectores más bajos dentro de las cavidades de las bandejas. Esto ocasiona al menos, dos problemas, uno, es la formación de una microzona donde se acumula el agua sobre la capa de sustrato con partículas más pequeñas, fenómeno conocido como “*agua colgada*” que contribuye a una sobresaturación en la parte superior y a otra zona con déficit hídrico, que queda por debajo de la capa.



Cuadro 11: Caracterización química de tres diferentes sustratos utilizados en viveros forestales (ROMAN, 2001).

Variables	Tipo de Análisis	Unidades	Sustratos usados por 3 Viveros		
			1	2	3
pH	Suspensión	1 : 2,5	6,2	6,4	7,1
Conductividad eléctrica		mmhos/cm(*)	0,18	0,19	0,31
N-NH ₄	Soluble	mg/l	13,4	10,4	10,5
N-NO ₃	Soluble	mg/l	4,1	1,54	0,18
Fósforo	Soluble	mg/l	0,47	2,80	0,51
Potasio	Soluble	mg/l	32,5	24	32,3
Calcio	Soluble	mg/l	4,6	6,4	9,1
Magnesio	Soluble	mg/l	3,0	2,1	7,6
Sodio	Soluble	mg/l	11,2	8,7	22,1
HCO ₃	Soluble	mg/l	85,4	39,0	127,3
Cobre	Soluble	mg/l	0,04	0,08	0,07
Boro	Soluble	mg/l	0,50	0,29	0,49
M a t e r i a orgánica		%	63	54,0	9,2
Carbono orgánico		%	35,0	30,0	21,9
Nitrógeno Total		%	0,64	0,56	0,48
Relación Carbono / Nitrógeno			54,7	53,6	57,4
Acido Húmico			2,4	n.a	n.a
Acido Fúlvico			2,2	n.a	n.a
CIC.		cmol/ kg	32,9	30,8	22,1
Aluminio Intercambiable		cmol/ kg	0,20	n.a	n.a
Manganeso Total		ppm	186	n.a	n.a
Hierro Total		ppm	5774	n.a	n.a
Humedad		%	56	54	52

(*) La conductividad se mide actualmente en decisiemens (dS/ m).

Las equivalencias son las siguientes: 1 mmhos / cm = 1Ms /cm = 1 dS/ m = 1000 S/ cm.

El segundo problema que se origina, es una distribución heterogénea de los fertilizantes, los que se acumulan en la parte superior de las cavidades de los contenedores. Como resultado de esto, el volumen radicular no ocupa totalmente el volumen de cada contenedor y las raíces experimentan estreses hídricos y nutricionales, que afecta el comportamiento posterior de las plantas afectadas. El análisis químico del sustrato, permite conocer las características químicas de éste, especialmente las concentraciones de macro y micronutrientes. Por otra parte, la calidad del sustrato, en términos de la relación Carbono: Nitrógeno (C/N), de la concentración de ácidos húmicos y fúlvicos, su pH y conductividad eléctrica, contribuyen a determinar el estado químico que tiene el sustrato cuando es recibido por el viverista.

El conocimiento que debe tener el viverista para evaluar las propiedades del sustrato adquirido, debería permitirle manejar adecuadamente el sustrato. Es importante que le solicite al productor del sustrato, que envíe una muestra del sustrato que él recibirá, a un laboratorio competente, para conocer las propiedades químicas del material. Esta información determinará los pasos que debe seguir en la preparación del régimen de fertilización que aplicará al vivero.

4.3 Influencia del pH en el Comportamiento de los Nutrientes

La disponibilidad de casi todos los nutrientes esenciales está directa o indirectamente afectado por el pH, este es un indicador de la acidez o basicidad. El pH que tenga un determinado sustrato, por ejemplo pH 5,5 indica la existencia de un medio ambiente químico ácido que predomina y que controla la actividad de las raíces y de los microorganismos que habitan en dicho sustrato.



El pH es uno de los factores más importantes que afectan la fertilidad y la actividad de los microorganismos. El pH óptimo para muchas latifoliadas está entre 6 a 7, en cambio, el pH para coníferas es más ácido y debe mantenerse entre 5 a 6 (TINUS, 1980). Si el pH del sustrato que recibe un vivero determinado es más ácido que el pH que desea mantener el viverista, deberá aplicarse algún producto como nitrato de calcio, nitrato de potasio, para elevar el nivel de acidez. En cambio, si el pH del sustrato es más básico que el esperado, deberá aplicar sulfato de amonio o ácido fosfórico para acidificar más el pH. Para esto deberá prepararse una curva de titración, la cual puede solicitarse a un laboratorio experimentado.

La acidez o alcalinidad se mide en unidades de pH. La escala se encuentra entre 0 y 14 en donde el pH 7 es el punto central. En ese valor de pH la concentración de iones hidrógeno (H^+) es igual a la concentración de iones hidroxilos (OH^-). Cuando el valor del pH disminuye de 7 a 4 por ejemplo, el sustrato es cada vez más ácido. Por el contrario, cuando el pH aumenta desde 7 hacia 8 o 9 el sustrato es más alcalino (básico). Suelos fuertemente ácidos (pH 4 - 5) tienen altas concentraciones de aluminio (Al) y manganeso (Mn) soluble. Plantas como las azaleas, rododendros, té, piñas, berries y muchas coníferas, toleran una fuerte acidez y crecen bien. En cambio, la alfalfa, la cebada, la avena, la remolacha, sólo crecen bien cuando el suelo el pH fluctúa entre débilmente ácido a moderadamente alcalino. Por otra parte, muchos minerales son más solubles en suelos ácidos que en suelos neutros o débilmente alcalinos. El pH del sustrato también influye sobre la actividad de microorganismos benéficos.

4.4 Importancia de la Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica, es una medida de la concentración de sales que se encuentran en un medio líquido o sólido. Se usa para expresar la salinidad del agua de riego, porque está relacionada con la concentración de sales. Se expresa en decisiemens por metro (dS/m) o en milisiemens por centímetro (mS/cm) o milimhos por centímetro (mmhos/cm) medida con un conductivímetro y se mide a la concentración de 1 g de fertilizante por litro de agua a 20 °C de temperatura.

Los fertilizantes son productos químicos que aportan nutrientes para las plantas, son sales inertes sin carga eléctrica, por ejemplo, nitrato de potasio (KNO_3), (catión K^+ más anión NO_3^-). Todos los fertilizantes solubles tienen distinta conductividad eléctrica (CE). Esta variable se emplea para conocer la salinidad que genera un fertilizante en comparación con otros fertilizantes. La importancia de mantener niveles bajos de salinidad en la solución *agua-nutrientes* que rodea a las raíces, radica en el hecho de que esto permitirá una mejor absorción de nutrientes, de mantener la permeabilidad de las membranas en buenas condiciones y

evitar un estrés por salinidad, la cual puede destruir una gran cantidad de clorofila y aumentar por otra parte, la producción de antocianinas (LARCHER, 2001).

Es conveniente supervisar periódicamente los niveles de fertilizantes aplicados, mediante la medición de la conductividad eléctrica (CE) y del pH de las diferentes soluciones aplicadas. En el caso de la conductividad eléctrica, el conductivímetro mide la carga eléctrica llevada por los iones que están disueltos en la solución. Mientras más concentrados estén los iones, mayor será la lectura. El agua de riego deberá verificarse semanalmente. El cuadro 12 entrega los valores para diversas condiciones de salinidad, los que deben ser verificados para el caso de plantas de eucaliptos y el tipo de sustrato que se emplee. El agua habitualmente tiene un pH cercano a la neutralidad (6,3 a 7,2) pero hay ocasiones que presenta valores superiores o inferiores a este rango.

Cuadro 12: Niveles de salinidad para un sustrato compuesto por turba y vermiculita (TIMMER Y PARTON, 1982).

Intervalo de CE	Salinidad
(uS/cm)	
0 - 1.200	Baja
1.200 - 2.500	Normal
2.500 - 3.000	Elevada
3.000 - 4.000	Excesiva
> 4.000	Letal

Es muy importante verificar la conductividad eléctrica (CE) de la solución de fertilizante que se está aplicando. Esta solución es la que entrará en contacto con el follaje y con las raíces. También debe verificarse la CE de la solución que entró al interior de la bandeja y que baña al sistema radicular de la planta. La solución que se encuentre rodeando al sistema radicular, debe ser diferente a la aplicada porque los cationes han sido absorbidos a diferentes tasas por las partículas del sustrato y por el sistema radicular. La composición química determinará la salud general del sistema radicular y el tipo y tasa de absorción de los nutrientes minerales aplicados.





CAPITULO 5



PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN

5.1 Preparación de un Programa de Fertilización

La mayoría de los programas de fertilización, toman como base la concentración de nitrógeno y las concentraciones de los otros elementos se establecen en relación a la del nitrógeno. INGESTAD (1979), analizó el equilibrio entre las concentraciones de nutrientes y concluyó que la proporción relativa entre ellos, en el medio de crecimiento, es un factor muy importante de considerar cuando se diseña un programa de fertilización en viveros.

Por otra parte, JONES (1983) corroboró esto, señalando que la proporción entre las concentraciones era más importante que la concentración absoluta de cualquier elemento. Este equilibrio entre los diversos elementos esenciales, es biológicamente importante, debido a que el exceso de algunos iones en el medio de crecimiento, puede afectar la absorción y utilización de otros iones y también porque el equilibrio iónico afecta el pH de la solución.

Durante la absorción activa de los iones, ocurren fenómenos de antagonismo, competencia y sinergismo. Los iones monovalentes como el potasio (K^+) son absorbidos por las raíces más rápidamente que los iones di o trivalentes. Si la principal forma de nitrógeno en la solución es nitrato (NO_3^-), los cationes como el K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} pueden ser absorbidos más efectivamente que si el nitrógeno estuviera en forma de amonio (NH_4^+). Muchos viveristas promueven el rápido crecimiento de las plántulas, mediante la aplicación de elevadas tasas de fertilización, especialmente elevadas concentraciones de nitrógeno. Esto puede ocasionar un consumo excesivo de fertilizantes y contaminar las aguas.

Tomando en cuenta que las condiciones que se encuentran en el medio de crecimiento son óptimas, en cuanto a temperatura, humedad y pH, las plántulas pueden absorber iones y acumular elevados niveles de ciertos nutrientes como N y K en desmedro de otros. Aunque algunos viveristas, consideran que el consumo excesivo de nutrientes no es un problema, sino que un desperdicio de fertilizante, otros creen que niveles nutricionales elevados en el follaje, especialmente de nitrógeno, pueden resultar dañinos. TIMMER Y ARMSTRONG (1987) se han referido a los efectos negativos derivados de la fertilización con mucho N como “toxicidad por nitrógeno”.

Las plántulas absorben el N rápidamente y lo almacenan en el follaje, pero no se observa un crecimiento adicional (GILLIAM *et al.*, 1980). Cuando se detectan niveles de N en el follaje que son superiores al rango entre 2,5 y 2,8 %, significa que existe un consumo excesivo. Concentraciones altas de N produce un mayor crecimiento de la parte aérea y un bajo crecimiento de las raíces. GILLIAM *et al.* (1980), encontraron que el empleo de concentraciones de N entre 150 a 300 ppm, los tejidos son más suculentos y producen flujos secundarios de crecimiento, lo que deja a las plántulas muy sensible a ser dañadas por frío. Por otra parte, TIMMER Y ARMSTRONG (1987), encontraron que el exceso de N disminuye el peso y la fibrosidad del sistema radical.

El nivel ideal de N para aplicar a las plántulas en las diferentes etapas de crecimiento, es un tema de mucha discusión entre los viveristas. El mejor nivel, será aquel que esté en equilibrio con las características que identifican a cada vivero: clima (temperatura, humedad, radiación), tipo de sustrato, calidad del agua, tipo de contenedores, etc. Muchos se inclinan por utilizar un nivel moderado de N, alrededor de 100 a 150 ppm durante la fase de crecimiento rápido. Según SCARRAT (1986) al aplicar niveles superiores a 250 ppm de N se lograba un crecimiento suculento de la parte aérea y un desequilibrio en la relación tallo: raíces.

En este documento, se entregan las recomendaciones generales para que los viveristas preparen sus prescripciones, pero se les sugiere que exploren el régimen nutricional más adecuado de acuerdo a las características de sus viveros. Se empleará la unidad partes por millón (ppm) para indicar la concentración de nutrientes y también las unidades de peso, miligramo por litro (mg/l) para realizar los cálculos de los fertilizantes que se aplicarán. La conversión entre partes por millón y miligramos por litro para soluciones acuosas es la siguiente:

1 ppm = 1 mg/l, puesto que un litro de agua pesa 1 kilo (1 mg/kg = 1 ppm)

5.1.1 Fase de crecimiento inicial

Algunos viveristas consideran que la fertilización temprana no es necesaria, porque el endospermo contiene nutrientes suficientes para el establecimiento y el crecimiento inicial. CARLSON (1983) ha indicado que las plántulas recién germinadas absorben pocos elementos minerales hasta las dos primeras semanas después de la germinación.



Por otra parte, BARNETT Y BRISSETTE (1986), han señalado que un retraso en el inicio de la fertilización, puede tener un efecto significativo en el desarrollo de las plántulas, haciéndolas perder hasta un 20 % del peso de ellas. En esta fase, se recomienda aplicar una dosis de 25 o 50 ppm de N nitrógeno. El inicio sugerido es a la semana siguiente después de la germinación.

Para el ejemplo que se entrega a continuación (caso 1), se ha considerado la información aportada por Soquimich, para la línea de Ultrasol Inicial **N: P: K** = 1:2:1, es decir **15 %: 30 %: 15 %**.

Cuadro 13: Fase de crecimiento inicial, las concentraciones que se entregan, le permiten al viverista aplicarlas mientras desarrolla sus propias prescripciones.

Nutrientes	Dosis óptima Crecimiento Inicial (ppm)
Macro	
N	50
P	100
K	100
Ca	80
Mg	40
S	60
Micro	
Fe	4,0
Mn	0,8
Zn	0,32
Cu	0,15
B	0,5
Cl	4,0

CASO 1: Concentración objetivo: 25 ppm de N para una tasa de inyección 1:200

1. Primero establezca el nivel de nitrógeno que tendrá la solución que desea aplicar. En este caso se aplicarán soluciones con 25 ppm de N.

2. Determine la cantidad de fertilizante que usará para producir la concentración deseada (25 ppm). El fertilizante tiene la proporción: 15 % de N, 30 % de P y 15 % de K.

$$25 \text{ ppm} = 25 \text{ mg/l} / 0,15 = 167 \text{ mg/l de fertilizante.}$$

3. Ajuste a la tasa de inyección seleccionada: 1:200.

$$(167 \text{ mg/l de fertilizante}) \times 200 = 33.400 \text{ mg /l de fertilizante.}$$

4. Convierta los miligramos por litro a gramos por litro.

$$33.400 \text{ mg/l} / 1.000 \text{ mg/g} = \mathbf{33,4 \text{ gramos /litro de fertilizante Ultrasol Inicial.}}$$

5. Calcular la cantidad de fósforo que contiene la solución de fertilizante Ultrasol con 30 % de P_2O_5 .

$$(167 \text{ ml/l}) \times 0,30 = 50,1 \text{ ppm } P_2O_5.$$

6. Utilice el factor de conversión del cuadro N° 7 (0,4364) y convierta el P_2O_5 a P elemental.

$$(50,1 \text{ ppm } P_2O_5) \times (0,4364) = \mathbf{21,9 \text{ ppm de P}}$$

7. Mediante un proceso similar, calcule la cantidad de K que proporciona Ultrasol de Inicial

$$(167 \text{ ml/l}) \times (0,15) = 20,05 \text{ ppm de } K_2O.$$

$$20,05 \text{ ppm de } K_2O (0,8301) = \mathbf{20,8 \text{ ppm de K.}}$$

Para utilizar la solución de fertilizante Ultrasol Inicial 15:30:15, con una concentración de 25 ppm de N, 21,9 ppm de P y 20,8 ppm de K, se requiere pesar 33,4 g por litro de fertilizante.

CASO 2: Concentración objetivo: 50 ppm de N para una tasa de inyección 1:200

1. La concentración de nitrógeno (N) que tendrá la solución será de 50 ppm.

2. Determine la cantidad de fertilizante que usará para producir la concentración deseada (50 ppm).

$$50 \text{ ppm} = 50 \text{ mg/l} / 0,15 = 334 \text{ mg/l de fertilizante.}$$

3. Ajuste a la tasa de inyección seleccionada: 1:200.

$$(334 \text{ mg/l de fertilizante}) \times 200 = 66.800 \text{ mg /l de fertilizante Ultrasol inicial.}$$

4. Convierta los miligramos por litro a gramos por litro.

$$66.800 \text{ mg/l} / 1.000 \text{ mg/g} = \mathbf{66,8 \text{ gramos de N /litro de fertilizante.}}$$

5. Calcular la cantidad de fósforo que contiene la solución de fertilizante Ultrasol inicial con 30 % de P_2O_5 .

$$(334 \text{ ml/l}) \times 0,30 = 100,2 \text{ ppm } P_2O_5.$$

6. Utilice el factor de conversión del cuadro N° 7 (0,4364) y convierta el P_2O_5 a P elemental.

$$(100,2 \text{ ppm } P_2O_5) \times (0,4364) = \mathbf{43,7 \text{ ppm P}}$$

7. Mediante un proceso similar calcule la cantidad de K que proporciona Ultrasol de Inicial

$$(334 \text{ ml/l}) \times (0,15) = 50,1 \text{ ppm de } K_2O.$$

$$50,1 \text{ ppm de } K_2O (0,8301) = \mathbf{41,58 \text{ ppm K}}$$

Para utilizar la solución de fertilizante Ultrasol inicial 15:30:15, con una concentración de 50 ppm de N, 43,7 ppm de P y 41,58 ppm de K, se requiere pesar 66,8 g por litro de fertilizante.

5.1.2 Fase de crecimiento acelerado

Se usará Ultrasol de Crecimiento: 25 %: 10 %: 10 %.

CASO 1: Concentración de 100 ppm de N para una tasa de inyección 1:200

1. La concentración de nitrógeno que tendrá la solución de fertilizante será de **100 ppm de N**.
2. Se determina la cantidad de fertilizante que usará para producir la concentración deseada (100 ppm).

$$100 \text{ ppm} = 100 \text{ mg/l} / 0,25 = 400 \text{ mg/l de fertilizante.}$$

3. Ajuste a la tasa de inyección seleccionada: 1:200.

$$(400 \text{ mg/l de fertilizante}) \times 200 = 80.000 \text{ mg /l de fertilizante.}$$

4. Convierta los miligramos por litro a gramos por litro.

$$80.000 \text{ mg/l} / 1.000 \text{ mg/g} = \mathbf{80 \text{ gramos N/litro de fertilizante Ultrasol Crecimiento.}}$$

5. Calcular la cantidad de fósforo que contiene la solución de fertilizante Ultrasol Crecimiento con 30 % de P_2O_5 .

$$(400 \text{ ml/l}) \times 0,10 = 40 \text{ ppm } P_2O_5.$$

6. Utilice el factor de conversión del cuadro N° 7 (0,4364) y convierta el P_2O_5 a P elemental.

$$(40 \text{ ppm } P_2O_5) \times (0,4364) = \mathbf{17,4 \text{ ppm P}}$$

7. Mediante un proceso similar calcule la cantidad de K que proporciona el fertilizante 25: 10:10

$$(400 \text{ ml/l}) \times (0,10) = 40 \text{ ppm de } K_2O.$$

$$40 \text{ ppm de } K_2O (0,8301) = \mathbf{33,2 \text{ ppm K.}}$$

Para utilizar la solución de fertilizante Ultrasol Crecimiento 25:10:10, con una concentración de 100 ppm de N; 17,4 ppm de P y 33,2 ppm de K, se requiere pesar 80 g por litro de fertilizante.

CASO 2: Concentración de 150 ppm de nitrógeno para una tasa de inyección 1:200

1. La concentración de nitrógeno que tendrá la solución será de 150 ppm de N.
2. Determinar la cantidad de fertilizante que se usará para producir la concentración deseada (150 ppm).

$$150 \text{ ppm} = 150 \text{ mg/l} / 0,25 = 600 \text{ mg/l de fertilizante.}$$

3. Para ajustar a la tasa de inyección seleccionada: 1:200.

$$(600 \text{ mg/l de fertilizante}) \times 200 = 120.000 \text{ mg /l de fertilizante.}$$

4. Convertir los miligramos por litro a gramos por litro.

$$120.000 \text{ mg/l} / 1.000 \text{ mg/g} = \mathbf{120 \text{ gramos /litro de fertilizante Ultrasol Crecimiento.}}$$

5. Calcular la cantidad de fósforo que contiene la solución de fertilizante con 10 % de P_2O_5 .

$$(600 \text{ ml/l}) \times 0,10 = 60 \text{ ppm } P_2O_5.$$

6. Utilice el factor de conversión del cuadro N° 7 (0,4364) y convierta el P_2O_5 a P elemental.

$$(60 \text{ ppm } P_2O_5) \times (0,4364) = \mathbf{28,18 \text{ ppm P}}$$



7. Mediante un proceso similar calcule la cantidad de K que proporciona el fertilizante 15: 30:15

$$(600 \text{ ml/l}) \times (0,10) = 60 \text{ ppm de K}_2\text{O}.$$

$$60 \text{ ppm de K}_2\text{O} (0,8301) = \mathbf{49,8 \text{ ppm K}}$$

Para utilizar la solución de fertilizante Ultrasol Crecimiento 25:10:10, con una concentración de 150 ppm de N; 28,18 ppm de P y 49,8 ppm de K, se requiere pesar 120 g por litro de fertilizante.

Cuadro 14: Fase de crecimiento acelerado, las concentraciones que se presentan en el cuadro, permiten al viverista aplicarlas mientras desarrolla sus propias prescripciones para esta etapa.

Nutrientes	Dosis óptima Crecimiento Acelerado ppm
Macro	
N	150
P	60
K	150
Ca	80
Mg	40
S	60
Micro	
Fe	4
Mn	0,8
Zn	0,32
Cu	0,15
B	0,5
Cl	4

5.1.3 Fase de endurecimiento

Se empleará como ejemplo, otro producto utilizado por muchos viveristas, Ultrasol de Producción que tiene una concentración de **13 % de N, 6 % de P y 40 % de K.**

Una prescripción que es utilizada frecuentemente en la etapa de endurecimiento, se entrega en el cuadro 15, puede observarse que la fertilización que se aplica, mantiene una alta concentración de potasio, se mantiene la de fósforo y disminuye la de nitrógeno. Las concentraciones del resto de los macro y micro elementos se mantiene similar a la aportada en la fase de crecimiento acelerado.

Cuadro 15: Fase de endurecimiento de las plántulas, las concentraciones que se entregan, pueden servir como punto de partida para que los viveristas desarrollen sus propias prescripciones.

Nutrientes	Dosis óptima Endurecimiento ppm
Macro	
N	50
P	60
K	150
Ca	80
Mg	40
S	60
Micro	
Fe	4
Mn	0,8
Zn	0,32
Cu	0,15
B	0,5
Cl	4



CASO 1: Proporcionar 10 ppm de n, 25 ppm de p y 25 ppm de k a una tasa de inyección de: 1:200

1. Se establece el nivel de nitrógeno que tendrá la solución de fertilizante que se aplicará. En la fase de endurecimiento se usarán 10 ppm de N.
2. Determinar la cantidad de fertilizante que usará para generar la concentración deseada (10 ppm). El fertilizante que se usa en este ejemplo tiene la proporción 13 % de N, 6 % de P y 40 % de K.

$$10 \text{ ppm} = 10 \text{ mg/l} / 0,13 = 77 \text{ mg/l de fertilizante.}$$

3. Ajuste a la tasa de inyección seleccionada: 1:200.

$$(77 \text{ mg/l de fertilizante}) \times 200 = 15.400 \text{ mg /l de fertilizante.}$$

4. Convierta los miligramos por litro a gramos por litro.

$$15.400 \text{ mg/l} / 1.000 \text{ mg/g} = \mathbf{15,4 \text{ gramos /litro}} \text{ de fertilizante Ultrasol de Producción.}$$

5. Calcular la cantidad de fósforo que contiene la solución de fertilizante con 6 % de P_2O_5 .

$$(77 \text{ ml/l}) \times 0,06 = 4,62 \text{ ppm } P_2O_5.$$

6. Utilice el factor de conversión del cuadro N° 7 (0,4364) y convierta el P_2O_5 a P elemental.

$$4,62 \text{ ppm } P_2O_5 \times (0,4364) = \mathbf{2,0 \text{ ppm P}}$$

7. Mediante un proceso similar, se calcula la cantidad de K.

$$(77 \text{ ml/l}) \times (0,40) = 30,8 \text{ ppm de } K_2O.$$

$$30,8 \text{ ppm de } K_2O (0,8301) = \mathbf{25,56 \text{ ppm K.}}$$

La solución de Ultrasol aporta 10 ppm de Nitrógeno, 2 ppm de Fósforo y 25,5 ppm de Potasio. Como se desea agregar en esta etapa de endurecimiento, una solución que tenga una concentración de 10 ppm de N, 25 ppm de P y 25 ppm de K elemental, es necesario agregar 23 ppm de P adicionales, puesto que las concentraciones de N y K están cubiertas con el Ultrasol de Producción. Una alternativa es agregar ácido fosfórico (H_3PO_4) que proporciona fósforo (P) y que tiene una concentración de 52 % y 1 % de azufre (S).

Para calcular la cantidad de P que debe usarse para preparar la solución, se tiene en cuenta que el ácido fosfórico contiene 32 % de P elemental. Por lo tanto, se necesitan 23 ppm para llegar al objetivo propuesto.

$$23 \text{ ppm} / 0,32 = 71,88 \text{ mg/l de } \text{H}_3\text{PO}_4.$$

$$71,88 \text{ mg/l} \times 200 \text{ litro} = 14.376 \text{ mg /l de ácido fosfórico.}$$

$$14.376 / 1.000 \text{ mg/g} = \mathbf{14,37 \text{ g por litro de ácido fosfórico.}}$$

5.2 Aplicación de Fertilizantes de Acuerdo a la Tasa de Inyección del Vivero

Se han desarrollado tablas para determinar con facilidad y rapidez la cantidad de fertilizante que se debe agregar para un intervalo deseado de concentraciones de N y para diferentes tasas de inyección de nutrientes. Es importante recordar que estas tablas sólo entregan los niveles de N y que los niveles de P, K y otros nutrientes son determinados a partir de los componentes del fertilizante.

Cuadro 16: Tablas para determinar la cantidad de fertilizante comercial que debe agregarse por cada 3,8 litros de agua.

Cantidad de fertilizante que debe agregarse a 3,8 litros de agua			
Tasa del inyector	100 ppm	150 ppm	200 ppm
	gramos de fertilizante		
30 % de fertilizante nitrogenado (por ejemplo 30:10:10)			
1/300	382,7	574,1	765,5
1/200	255,2	382,7	510,3
1/100	127,6	191,4	255,2
25 % de fertilizante nitrogenado (por ejemplo 25:10:10)			
1/300	476,8	701,7	935,6
1/200	311,8	467,8	623,7
1/100	155,9	23,9	311,8
20 % de fertilizante nitrogenado(por ejemplo 20:20:20)			
1/300	574,1	861,1	1.148,20
1/200	382,7	574,1	765,4
1/100	191,4	287	382,7

5.3 Monitoreo de la Fertilización

La supervisión de la fertilización, se efectúa mediante la medición de la conductividad eléctrica CE, del pH de las soluciones de fertilizantes aplicadas y los análisis químicos de las soluciones. Las etapas a supervisar durante la fertilización, son cuatro. La primera de ellas, está relacionada con la comprobación del análisis de las sales nutritivas que vienen en el agua de riego. Es necesario verificar la conductividad eléctrica, el pH y las concentraciones de nutrientes.



La segunda etapa está relacionada con la eficacia del inyector de fertilizantes. Esto puede ser verificado diluyendo la solución de fertilizantes y midiendo la CE. Si utiliza un inyector 1:200, agregue una parte de la solución a 200 partes del agua de riego. La lectura de la CE de la solución deberá ser aproximadamente la misma que la CE de la solución aplicada operacionalmente (TINUS Y McDONALD, 1979).

La tercera etapa consiste en verificar la solución aplicada, porque ésta es la que entra en contacto con las plántulas e invade la zona de raíces. Debe colectarse una parte de la solución directamente de la boquilla de riego y deberá controlarse la CE y el pH. La lectura de la CE deberá ser aproximadamente igual a la suma de la salinidad del agua de riego, más las sales agregadas en la solución fertilizante. Por otro lado, el pH de la solución aplicada deberá estar cercano al pH elegido para operar en forma rutinaria. En el caso de *Eucalyptus*, el pH debería estar entre 5,5 y 6,0. En caso contrario, debería ajustarse el pH agregando una cantidad de ácido a la solución.

La cuarta etapa consiste en la determinación de la calidad del lixiviado, o sea tomar una muestra del agua que escurre desde el fondo de cada cavidad hacia el exterior y que transporta la solución de fertilizantes aplicada, se analiza la CE y el pH de la solución extraída.



CAPÍTULO 6



ANÁLISIS NUTRICIONAL DE LAS PLANTAS

El análisis nutricional de las plantas permite evaluar el programa de fertilización aplicado y cuantificar los nutrientes almacenados dentro de la planta. Para seleccionar las muestras que serán enviadas al laboratorio, puede escogerse toda la plántula, sólo la parte aérea de ella, sólo el follaje o los tallos o las raíces (YOUNGBERG, 1980).

Se prefiere analizar la concentración del follaje porque es una medida verdadera de la efectividad de la fertilización aplicada. Los laboratorios pueden medir con precisión los niveles de los 13 elementos esenciales. Las muestras deben estar limpias y colectadas aleatoriamente del conjunto de plantas que interesa evaluar. Cada una de las muestras que se envíen al laboratorio, debe estar formada como mínimo entre quince a veinte plantas. En el caso de enviar hojas, se extraen 4 a 6 hojas de cada planta, estas se juntan con las procedentes de las otras plantas, se colocan en una bolsa plástica de 30 por 40 cm, la cual debe tener perforaciones pequeñas, para que salga la humedad de la bolsa.

Se coloca una etiqueta con las indicaciones necesarias que permitan saber la procedencia de cada muestra. Estas deben ser refrigeradas antes de ser enviada al laboratorio. Algunos laboratorios sugieren que las plantas sean secadas al horno (65 °C) durante dos días o hasta que el peso de la muestra sea constante y después enviarlas para su análisis.

6.1 Estándares e Interpretación de Análisis Nutricionales

Para interpretar los resultados de los análisis químicos entregados por el laboratorio, es necesario compararlos con valores estándares que han sido preparados por especialistas que han determinado los niveles nutricionales óptimos y deficitarios de las diversas especies forestales. De esta manera, al compararlos se puede evaluar si los niveles encontrados en un vivero determinado son adecuados, excesivos o deficientes (KNIGHT, 1978).

Lo primero que debe revisar el viverista al recibir los resultados del laboratorio son las unidades en que viene expresados los análisis. La mayoría de los resultados viene en unidades de **concentración** (% y ppm), otras veces, es entregado como **contenido** de nutrientes (g /planta).

Concentración: Los nutrientes que contienen los distintos componentes de las plantas, se expresan comúnmente en unidades proporcionales de peso seco del tejido; los macro nutrientes en porcentaje (%) y los micro nutrientes en partes por millón (ppm). Las unidades proporcionales describen cuan concentrados están los nutrientes en los tejidos.

Además de las partes por millón, otra unidad que se utiliza para describir la concentración de nutrientes es microgramos por gramo (ug/g), lo cual es exactamente lo mismo que ppm. A veces es necesario convertir entre % y ppm, lo que se hace de la siguiente manera:

Para convertir % a ppm multiplique por 10.000.

Para convertir ppm a % divida por 10.000.

Contenido: Otra unidad que se utiliza en la literatura especializada, es el contenido de nutrientes y está relacionada con la cantidad total de nutrientes que una plántula o componente de ella contiene y se expresa en peso por planta (mg/plántula).

Es importante distinguir entre concentración y contenido de nutrientes durante la interpretación de los datos. Ambos términos son a menudo, confundidos en la literatura (LEAF, 1973). Tanto el uso de la concentración como el contenido tienen sus limitaciones. Los datos entregados en unidades de concentración están sujetas al efecto de dilución producido por el crecimiento de los nuevos tejidos; por otra parte, el contenido no especifica el tamaño de las plantas (KRUEGER, 1967). No hay consenso acerca de cual de las dos unidades es más útil y por eso, algunos expertos han sugerido que ambas unidades sean utilizadas para preparar los informes (LEAF, 1973; WEETMAN Y WELLS, 1990).

Los valores de concentración de nutrientes son útiles para estimar la calidad de las plantas, pero el contenido de nutrientes podría ser un mejor predictor del comportamiento de las plántulas, debido a que este considera el tamaño de las plántulas.

Variaciones en las concentraciones nutricionales: Se ha demostrado que el status nutricional de las plántulas, varía según la edad de las plántulas, según la procedencia, la forma de producción de las plántulas (a raíz desnuda, en contenedores, provenientes de semillas o estacas), el tipo de tejido (hojas, tallos, raíz, planta completa).

El medio ambiente del vivero, también puede afectar el status nutricional de las plántulas, debido a las diferencias en fertilidad del sustrato a las prácticas culturales que se emplean y al clima que predomine.

Variaciones encontradas en los laboratorios: El problema de las variaciones analíticas entre laboratorios ha sido muy debatido (JONES Y STEYN, 1973). Las variaciones, que a veces son muy grandes, pueden ser causadas por los diferentes procedimientos que cada laboratorio utiliza o por los equipos utilizados.

La única solución práctica para evitar o disminuir el error es seleccionar un laboratorio que sea confiable, de modo que las muestras sean analizadas bajo los mismos procedimientos.

Los resultados publicados o los estándares que se utilicen, deberían especificar los procedimientos analíticos utilizados, de manera que las personas que interpreten los datos, estén al tanto de las posibles implicaciones (LEAF, 1965).



6.2 Comparación de los Resultados Analíticos con Valores Estándares

Para que los valores entregados por el laboratorio tengan un significado, deben ser comparados con valores estándares. Estos valores deben ser tan específicos como sea posible, y deben tomar en cuenta la especie, el tipo de producción de planta, y los procedimientos analíticos.

La mayoría de las referencias, entregan los estándares nutricionales como rangos de concentración en vez de valores discretos. El uso de rangos, permite considerar las variaciones naturales entre viveros y sitios. También se pueden utilizar las proporciones entre diversos nutrientes, lo que a juicio de muchos investigadores, son tan útiles como los rangos y valores absolutos y permiten identificar desequilibrios nutricionales dentro de las plántulas (INGESTAD, 1979; LAMBERT, 1984; HALLET, 1985; SCHONAU Y HERBERT, 1988).

Los estándares nutricionales para *Eucalyptus* que se encuentran en diversas publicaciones, se han desarrollado en condiciones a veces muy diferentes a los de los viveros que requieren usar estándares. La información o bien proviene de otros países, la edad de las plantas varía en un amplio rango, o las condiciones climáticas en donde están establecidos los viveros son muy distintas.

El cuadro 15 resume las concentraciones promedios encontradas en plántulas de *E. globulus* que fueron producidas en contenedores en 41 viveros distribuidos entre la VI y IX región durante el año 2005. Las muestras se analizaron al finalizar la temporada en el mes de Septiembre. Así mismo, en el año 2006, se repitió el muestreo y se hizo un análisis detallado de los elementos esenciales. Se encontró por ejemplo, que la concentración promedio de nitrógeno N fue de 0,93%, este valor representa una concentración deficiente de este elemento. Si se considera que la desviación estándar fue de 0,36, puede concluirse que ningún vivero produjo plantas con una concentración cercana a 2,0 % de N, concentración que puede considerarse como el límite inferior del rango óptimo (2,0 – 2,8 %) (BOARDMAN *et al.*, 1997). Se puede concluir, que todas las plántulas de los 41 viveros se fueron a los sitios de plantación definitivos con niveles deficitarios de nitrógeno.

Como muchos viveros dejan de fertilizar cuando finaliza el mes de Marzo o Abril, o bien suspenden definitivamente la aplicación de nitrógeno, la explicación que justificaría la baja concentración de nitrógeno encontrada en las plántulas, es que ocurrió el efecto de dilución, que redujo la concentración de N durante la continuación del crecimiento (JARRELL Y BEVERLY, 1981). Lo que llama la atención, son las altas concentraciones de los restantes macro elementos que se mantuvieron en las plántulas durante el periodo abril - septiembre. Habitualmente se busca mantener una relación óptima entre nitrógeno y fósforo de 15 (SCHONAU Y HERBERT, 1988).

Las concentraciones aisladas de los elementos esenciales (valores absolutos en las concentraciones), raramente entregan relaciones positivas en Eucaliptos. SCHONAU (1982) encontró que las proporciones foliares de N/P y N/K entregan mayor claridad de los requerimientos de fertilizantes y del status nutricional que los niveles individuales en *Eucalyptus grandis*. Por su parte, CROMER Y WILLIAMS (1982) señalaron que la relación N/P en el follaje de *E. globulus* variaba entre 22,5 en plantas no fertilizadas a 14 en plantas que habían recibido tratamientos con dosis elevadas de N y P. Finalmente sugirieron que la razón N/P = 15 era el óptimo.

Las interacciones entre nitrógeno y fósforo han atraído el interés de los viveristas, porque se han encontrado situaciones en que se presentan situaciones sinérgicas entre ambos elementos (WARING, 1972). Las proporciones entre nitrógeno y azufre; nitrógeno: cobre; nitrógeno: boro se han estudiado con algún detalle, pero todavía no hay mucha claridad al respecto. En los viveros encuestados la relación N/P promedio fue de 5,9 con una desviación estándar de 2,4. Para llegar a la proporción N/P 15 considerada como óptima, habría sido necesario aplicar más nitrógeno, para salir de la condición de deficiencia detectada al finalizar la temporada.

Cuadro 17: Valores promedios de concentración de macronutrientes obtenidos de 41 viveros que producen plantas de *E. globulus* en contenedores, viveros ubicados entre la VI y IX Región. Muestreo realizado en Septiembre 2005.

Macro nutrientes	N	P	K %	Ca	Mg	N/P	Ca/Mg	K/Mg	K/Ca
Promedio	0,93	0,18	1,06	0,71	0,37	5,9	2,1	3,2	1,7
Desviación estándar	0,36	0,09	0,34	0,21	0,09	2,4	0,98	1,4	0,9

La concentración promedio de fósforo (P) fue de 0,18 %, valor que se encuentra en el rango óptimo (0,16 y 0,20). Las concentraciones de K, Ca y Mg, se encuentran en niveles óptimos e incluso podrían estar en el umbral de consumo excesivo. Estas concentraciones deben ser validadas para los diferentes viveros, según sea la localidad y características de sitio en que se encuentren.

Al efectuar un análisis similar al año siguiente, en Octubre del 2006 (cuadro 18), se observó que la concentración promedio de nitrógeno había aumentado levemente, manteniéndose una similar desviación estándar. Al mismo tiempo, se detectó una pequeña disminución en la concentración de P y K, manteniéndose por otra parte, las mismas concentraciones promedio de Ca y Mg. Se agregó en esta oportunidad, información sobre la concentración de azufre, lo que permitirá iniciar estudios con este elemento y buscar una proporción óptima entre N y S.

Cuadro 18: Valores promedios de concentración de macronutrientes obtenidos de 41 viveros ubicados entre la VI y IX Región.

Las plantas de *E. globulus* fueron producidas en contenedores. Muestreo realizado en Septiembre de 2006.

Macro nutrientes	N	P	K	Ca (%)	Mg	Na	S	N/P	N/S
Promedio	1,06	0,14	0,86	0,72	0,37	0,17	0,14	8,4	7,9
Desviación estándar	0,34	0,06	0,33	0,22	0,10	0,05	0,05	3,0	1,7

Por otra parte, interesaba conocer las concentraciones que se alcanzan con los micro elementos, y se encontró por ejemplo que cobre (Cu), presentaba como promedio una concentración de 37 ppm y una enorme desviación estándar (57,3). Esta variación se debe a que en algunos viveros, se encontraron concentraciones de Cu entre 265 ppm y en otros entre 6 y 9 ppm. Algo parecido fue encontrado en los elementos Fe, Mn, Zn y B. Algunos viveros están fertilizando en exceso con microelementos, esto puede causar desequilibrios a las plántulas con el consiguiente efecto en el desarrollo futuro.

Cuadro 19: Valores promedios de concentración de micronutrientes obtenidos de 41 viveros ubicados entre la VI y IX Región.

Las plantas de *E. globulus* fueron producidas en contenedores. Muestreo realizado en Septiembre de 2006.

Micro nutrientes	Cu	Fe	Mn (ppm)	Zn	B
Promedio	37	270	424	24	28
Desviación estándar	57,3	140	246	7,3	17

Para comparar estos resultados, con otros viveros, se obtuvieron análisis químicos de un vivero instalado en Los Ángeles, el cual no participó en la encuesta. Aquí las concentraciones promedios de N fluctuaron entre 1,46 y 1,51%. Estas concentraciones permiten la obtención de plantas de mejor calidad (cuadro 20). La relación N/P de las plántulas que lograron alturas superiores a 30 cm. fue de 7,9 y en las plántulas cuyas alturas eran inferiores a 25 cm, la relación N/P fue de 5,4. Ambas proporciones son inferiores a 15 e indican que la concentración de nitrógeno debe aumentar en ambos casos y disminuir la de fósforo, en donde las plántulas son más pequeñas.

Por esta razón, es necesario analizar el follaje periódicamente, especialmente en los períodos críticos de crecimiento, para determinar las concentraciones que tienen las plántulas y corregir oportunamente el régimen de fertilización que se está aplicando. La concentración promedio de P fue de 0,18 %, que se considera un valor apropiado, pero la relación N/P fue de 5,9. La relación óptima N/P para *E. globulus* debería ser de 15 (CROMER *et al.*, 1981; SCHONAU Y HERBERT, 1988). Las concentraciones de K, Ca y Mg, se encuentran en un rango apropiado.

Los valores de N obtenidos en un vivero situado en Los Ángeles, (cuadro 20) indican concentraciones más altas, las que fluctúan entre 1,46 y 1,51 %. Estas concentraciones se acercan a condiciones más normales. El muestreo se realizó en el mes de agosto, y se analizó la planta completa, sin separar sus componentes. Las plántulas estuvieron con un régimen de fertilización muy bajo en N a partir del mes de mayo. La relación N/P fue de 7,9 y 5,4 evidenciando de todas maneras un desequilibrio nutricional, especialmente en las plantas más pequeñas en donde la concentración de P presenta valores muy altos. También se observa que las concentraciones de K y Mg son elevados y las de Ca están en un promedio aceptable.

Cuadro 20: Concentraciones promedios de un vivero ubicado en Los Ángeles, que no participó en la encuesta. Se analizaron las plantas completas, incluyendo en la muestra el follaje, tallo y raíces.

Tamaño planta	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe	Cu	B	N/P	K/Ca
			%					ppm				
<i>E. globulus</i> > 30 cm	1,51	0,19	1,56	0,41	0,41	28	422	245	16	18	7,9	3,8
<i>E. globulus</i> < 25 cm	1,46	0,27	1,71	0,37	0,35	32	304	248	21	14	5,4	4,6

La concentración de micro elementos, es una información relevante que todo viverista debe conocer, para corregir oportunamente las deficiencias que se presenten. Las concentraciones de los cinco macro elementos que presentan los dos tipos de plántulas, están en el rango óptimo, excepto el nitrógeno que está bajo del valor 2,2 %, considerado como el límite inferior del umbral óptimo (2,0 – 2,8 %).

Algunos autores recomiendan analizar sólo el componente aéreo e incluso considerar la plántula completa como una sola muestra, sin separarla en los diferentes componentes. Cuando se analiza el componente aéreo de las plántulas (cuadro 21) tomando en conjunto las hojas y los tallos, los valores encontrados se encuentran en el rango cercano al óptimo. Incluso la relación N/P se acerca al valor de 15. En este vivero, se agregó el análisis de azufre (S), para evaluar la relación N/S, el cual es importante para evaluar la presencia de aminoácidos cuyo componente principal es el azufre.

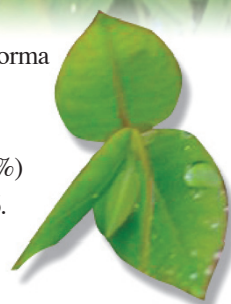
Las concentraciones de microelementos en el componente hojas - tallos, se encuentran en los rangos apropiados. En cambio en la raíz, las concentraciones de los macronutrientes N, P, Mg y S son más altas que en la parte aérea. Por otra parte, los micronutrientes Fe y Cu presentan concentraciones muy elevadas, tendiendo a la toxicidad (985 y 449 ppm, respectivamente).

Conocer la concentración de micro elementos en las plántulas, es una información relevante que todos los viveristas deben manejar. A pesar de la importancia fisiológica que reviste esta información, los rangos que aparecen en la bibliografía internacional, indican sólo lo relacionado con el óptimo, y no con las concentraciones deficitarias y tóxicas.

La tarea que queda por realizar es determinar los estándares para los macro y microelementos para los viveros de *E. globulus* y de otras especies de éste género (LAMBERT, 1984). Una información más precisa,

puede obtenerse analizando los diversos componentes de las plantas: follaje, tallos y raíces en forma separada.

La concentración de nitrógeno en las hojas, se encuentra bajo el rango óptimo (2,0- 2,8 %) pero el fósforo presenta una concentración mayor que lleva la relación N/P hacia un valor de 8,6. Si se reduce la cantidad de fósforo que se agregue en las próximas aplicaciones, la proporción podrá ser modificada y llevada al óptimo. Las concentraciones de potasio, calcio y magnesio, se encuentran en el rango considerado como óptimo, pero las de manganeso y cobre podrían estar en un nivel de consumo excesivo.



Al analizar las concentraciones de los tallos, el nitrógeno presenta valores bastante menores al de las hojas. Algunos autores recomiendan hacer un análisis de la plántula completa o bien mezclar tallos y hojas para hacer un análisis compuesto. Sin embargo, a la luz de los resultados mostrados en el cuadro 17, resulta más conveniente, analizar la planta separándola en sus componentes: hojas, tallo, raíz. Si se comparan las concentraciones de algunos microelementos, como el cobre (Cu), resalta la gran diferencia que existe entre lo que almacenan los diversos componentes, en este caso, el sistema radicular y el follaje. Una concentración de 403 ppm de Cu en la raíz es excesiva y probablemente causa una toxicidad y un desequilibrio nutricional con otros micronutrientes. Algo similar podría ocurrir con el hierro (Fe) en la raíz (466 ppm) o el manganeso (503 ppm) en el follaje.

Cuadro 21: Análisis químico de la parte aérea y radicular de plántulas de *E. globulus*.

Componentes	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Mn	Fe	Cu	B	N/P	N/S	K/Ca	K/Mg	Ca/Mg
	%						ppm						proporciones			
Hojas- tallos	1,46	0,16	0,72	0,44	0,32	0,09	23	177	91	15	24	9	16	1,6	2,2	1,3
Raíz	1,55	0,27	0,62	0,40	0,39	0,18	70	114	985	449	37	6	9	1,5	1,6	1

Prácticas que se llevan a cabo rutinariamente, como el baño de las bandejas con cobre, permiten almacenar este elemento en los intersticios de las bandejas, durante varias temporadas y afectar el comportamiento de las raíces.

Por otra parte, el empleo de corteza de pino radiata como sustrato, puede ocasionar un desequilibrio nutricional en las plántulas, porque se ha encontrado que los sustratos tienen concentraciones elevadas de Fe y Mn (PRADO Y TORO, 1996). Otra alternativa para conocer con mayor detalle el estado nutricional de las plántulas, es analizar la concentración de los distintos componentes, en este caso del follaje, tallo y raíz.

La concentración de nitrógeno en las hojas, se encuentra en el rango óptimo (1,5 - 2,2 %) pero el fósforo presenta una concentración mayor que lleva la relación N/P hacia un valor de 8,6. Si se reduce la cantidad de fósforo que se agregue en las próximas aplicaciones, la proporción podrá ser modificada y llevada al óptimo.

Si se comparan las concentraciones de algunos microelementos, como el cobre (Cu), hierro (Fe) y zinc (Zn) (cuadros 19 y 20), resalta la gran diferencia que existe entre lo que almacena en los diversos componentes, en este caso, entre el sistema radicular y el follaje. La concentración en la raíz de 403 ppm de Cu es excesiva y probablemente esté ocasionando una toxicidad y un desequilibrio nutricional con otros micros nutrientes. Algo similar podría ocurrir con el hierro (Fe) en la raíz (466 ppm) o el manganeso (503 ppm) en el follaje.

Por otra parte, el empleo de corteza de pino radiata como sustrato, puede ocasionar un desequilibrio nutricional en las plántulas con Fe y Mn, porque se ha encontrado que los sustratos muestran concentraciones elevadas de estos elementos.

Cuadro 22: Análisis químico de varios componentes de plántulas de *E. globulus*, producidas en contenedores en un vivero de Los Ángeles.

Componente	N	P	K %	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe ppm	Cu	B	N/P
Hojas	1,81	0,21	1,36	0,80	0,32	32	503	129	21	26	8,6
Tallos	0,89	0,19	1,33	0,88	0,18	26	155	45	18	18	4,7
Raíz	1,08	0,17	0,90	0,63	0,26	122	84	466	403	42	6,4

Cada vivero tiene su propia realidad, que lo caracteriza y diferencia de todos los otros. Las condiciones de clima, la calidad del agua de riego, el tipo de sustrato que se emplee. Por esta razón, la adopción de “recetas” aplicadas en otros viveros, sin probarlos previamente, puede provocar una serie de inconvenientes y afectar el desarrollo de las plántulas.

El cuadro 23, indica una confluencia de opiniones entre un grupo numeroso de viveristas nacionales para certificar plántulas producidas en viveros. Al menos el 95 % de las plántulas deben presentar las características señaladas en el cuadro.



Cuadro 23: Atributos Nutricionales de las Plántulas de *E. globulus*
(INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, 2006).

Atributos Fisiológicos de las Plantas Forestales Rango Adecuado	
Macronutrientes	
Nitrógeno (N)	1,70 % a 2,50 %
Fósforo (P)	0,12 % a 0,25 %
Potasio (K)	0,50 % a 1,50%
Calcio (Ca)	0,20 % a 0,90%
Magnesio (Mg)	0,10 % a 0,30 %
Azufre (S)	0,15 % a 0,20 %
Micronutrientes	
Fierro (Fe)	50 ppm a 400 ppm
Manganeso (Mn)	100 ppm a 1.250 ppm
Zinc (Zn)	10 ppm a 150 ppm
Cobre (Cu)	6 ppm a 100 ppm
Boro (B)	10 ppm a 100 ppm

Como puede observarse, el rango adecuado para cada nutriente esencial es muy amplio. La tarea que deben efectuar es encontrar cuales son las proporciones adecuadas entre los distintos nutrientes. Puede suceder que sus plantas estén dentro de los rangos señalados, pero al mismo tiempo, pueden encontrarse con un desequilibrio nutricional muy marcado. Por ejemplo, un grupo de plantas (stock) puede tener una concentración promedio de 2,50 % de N y 0,12 % de P, claramente el desequilibrio existe, porque la relación actual entre N/P es de 20,8 y se encuentra muy alejada del valor considerado como adecuado $N/P = 15$.

Además de los atributos nutricionales, el grupo liderado por INFOR, definió los atributos morfológicos que deben presentar las plántulas, al momento de ser enviadas a los lugares definitivos de plantación (cuadro 24). Se consideró importante, tomar en cuenta la altura de la planta (A), el diámetro de cuello (D), la relación diámetro de cuello/ altura (D/A) y un volumen mínimo de cada cavidad, que no puede ser inferior a 56 cm³.

Cuadro 24: Atributos morfológicos de las plántulas de *E. globulus* y *E. nitens*
(INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, 2006).

Sistema de Producción	Tipo de Planta	Tiempo máximo de viverización	Atributos	Magnitud
A raíz desnuda	Semilla	1 año	Altura	25 a 45 cm
			Diámetro de cuello D	> 5 mm
			Relación D/A	Mínimo 1/75
			Raíces	Longitud 8 a 12 cm
A raíz cubierta	Semilla	1 año	Altura	15 a 45 cm
			Diámetro de cuello D	> 2 mm
			Relación D/A	Mínimo 1/100
			Raíces	Pan integro. Volumen mínimo de la cavidad 56 cc
	Estaca	1 año	Altura	20 a 45 cm
			Diámetro de cuello D	> 3 mm
			Relación D/A	Mínimo 1/100
			Raíces	Pan integro. Volumen mínimo de la cavidad 56 cc

En todo caso, es una primera aproximación al tema. Es necesario agregar otras variables fisiológicas, que permitan obtener plantas equilibradas, tanto nutricional, como morfológica y fisiológicamente, para cada tipo de sitio en el cual se establecerán.

6.3 Síntomas Visuales de Deficiencias Nutricionales

Los síntomas de deficiencias nutricionales, a menudo son típicos para un nutriente determinado. Por este motivo, a menudo es posible usar la apariencia de la planta junto con análisis químicos para diagnosticar el o los nutrientes limitantes (LEAF, 1975; LANDIS, 1985). En *Eucalyptus* existen cinco tipos principales de síntomas (DELL, 1996):

1. Clorosis, que puede manifestarse uniformemente en toda la hoja o también intervenal.
2. Enrojecimiento de la hoja debido a la acumulación de antocianinas en sectores localizados o en toda la lámina.
3. Necrosis, muerte del tejido foliar.
4. Deformación de la hoja.
5. Muerte de las yemas de los tallos.

Algunos ejemplos se muestran en las fotos siguientes:

El cambio de color rojizo del follaje, ocurre cuando las temperaturas disminuyen en otoño. Cuando las temperaturas se elevan, el color rojizo desaparece. En otro caso como se observa en la foto 11 (lado derecho), el cambio de verde grisáceo a amarillo, en toda la hoja, es ocasionado por una deficiencia de nitrógeno.

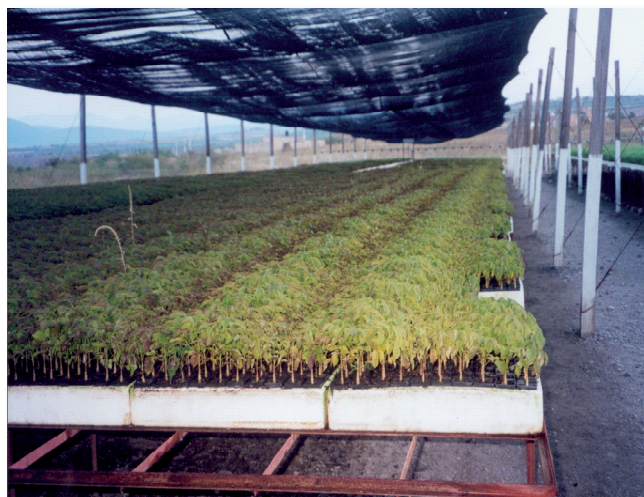


Foto 11: Plántula de color rojizo, producto de la acumulación de antocianinas. Lado derecho clorosis manifestada homogéneamente en todo el follaje, vivero en la Octava Región (Foto: J. TORO).

El cuadro 25 entrega la información que permite diferenciar por la forma y color que adquieren las hojas, el tipo de deficiencia que se genera cuando las plántulas se encuentran en condiciones nutricionales deficitarias.

Cuadro 25: Síntomas visuales que se encuentran en las hojas de *Eucalyptus* cuando hay deficiencias nutricionales (DELL, 1996).

A. Síntomas que aparecen primero o son más severos en las hojas más antiguas. Cambio de color es parejo en toda la hoja	Elemento
Hojas de color verde pálido a amarillento, se desarrollan pequeñas manchas rojizas secundariamente.	Nitrógeno
Hojas verdes con manchas rojizas u hojas de color púrpura a rojizas	Fósforo
Hojas con marcada clorosis (amarillamiento) intervenal	Magnesio
Hojas con márgenes quemados o a veces necrosis, precedida por una clorosis en los márgenes de la hoja	Potasio
B. Síntomas que aparecen primero en las hojas que están en expansión (hojas nuevas) Muerte de los ápices	
Internudos alargados, proliferación y muerte de las ramas laterales	Boro
Hojas con nervadura corchosa, clorosis apical, deformada o con márgenes incompletos	Boro
Hojas con márgenes ondulados, irregulares, algo de clorosis en la nervadura	Cobre
Hojas con forma de cuchara, debido a un impedimento en el crecimiento de los márgenes de la hoja	Calcio
C. No se detecta muerte apical en los ápices de las ramillas	
Hojas de tamaño normal	Azufre
Hojas de color verde pálido a amarillo	Hierro
Hojas amarillas con nervadura de color verde	Manganeso
Hojas con clorosis en los márgenes o moteados, pequeñas manchas blancas o café	Zinc
Hojas de tamaño pequeño, formando racimos	





CAPÍTULO 7



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La nutrición mineral es una técnica silvícola muy importante que se utiliza actualmente en los viveros nacionales. Para obtener el máximo de provecho de ella, es necesario que los viveristas dediquen una mayor atención a los fundamentos de la fertilización mineral para lograr una producción de plántulas de óptima calidad morfológica, nutricional y fisiológica.

El empleo de un mejor material genético, y la tendencia a producir plántulas-tipo para determinados sitios, debe conducir a un manejo nutricional más específico. Aunque se ha desarrollado en los últimos años una gran actividad en los viveros nacionales para producir plántulas de *Eucalyptus globulus*, se observa una carencia de información básica. Gran parte de ésta información puede encontrarse en los archivos de las grandes empresas forestales del país, sin embargo, no disponible para los pequeños y medianos productores de plantas.

Entre las carencias de información detectadas, se destaca la necesidad de preparar estándares nutricionales para las especies del género *Eucalyptus*. Estos deben indicar los rangos de las concentraciones cuando existen deficiencias, cuando las concentraciones son óptimas, y cuando estén generando toxicidad a las plántulas. También deben identificarse *las proporciones* que se establecen entre los diferentes nutrientes entre ellos, para las distintas fases de crecimiento de las plántulas.

Por otra parte, los regímenes nutricionales que se apliquen, deben considerar las diferencias que se establecen entre los viveros de acuerdo a la ubicación geográfica, a las características climáticas, a las peculiaridades del sustrato que emplean y a la calidad del agua de riego que emplean.

Una encuesta preparada en septiembre del 2005 y en octubre del 2006, con datos de 41 viveros distribuidos en tres regiones del país, indicó que los regímenes nutricionales aplicados en ellos, requieren de un serio ajuste en varios elementos, entre ellos el nitrógeno. A modo de ejemplo, puede señalarse que la concentración promedio de nitrógeno fue de 1,06 % con una desviación estándar de 0,34, que la concentración de fósforo fue de 0,14 %, mostrando una desviación estándar de 0,06 y que la concentración de cobre fue 37 ppm y una desviación estándar de 57,3 ppm.

Sobre las proporciones que se establecen entre los distintos nutrientes, la literatura menciona principalmente la relación N/P, a pesar que autores como LAMBERT (1984), SCHONAU Y HERBERT (1988) y MARSCHNER (1996), mencionan frecuentemente la importancia de que otras proporciones, como por ejemplo N/S, K/Ca, N/Cu, etc., tienen para el desarrollo de las plantas.

Un trabajo desarrollado por los investigadores australianos, BOARDMAN *et al.* (1997), proporciona elementos adicionales para afinar sus propios estándares nutricionales.

Cuadro 26: concentraciones nutricionales sugeridas para e. globulus que pueden usarse en forma preliminar mientras cada viverista las ajusta para su propia realidad (BOARDMAN *et al.*, 1997).

Nutrientes	Concentraciones				Tóxico
	Deficiente	Marginal	Adecuado	Alto	
Nitrógeno - N - %	< 1,0	1,7 - 2,0	2,0 - 2,8	i.n.d	> 4,3
Fósforo - P - %	< 0,10	0,12 - 0,14	0,14 - 0,26	i.n.d	i.n.d
Potasio - K - %	< 0,4	0,8 - 1,2		i.n.d	i.n.d
Calcio - Ca - %	i.n.d	i.n.d	0,4 - 1,3	i.n.d	i.n.d
Azufre - S - %	< 0,12	i.n.d	0,15 - 0,20	i.n.d	i.n.d
Magnesio - Mg - %	i.n.d	i.n.d	0,10 - 0,22	i.n.d	i.n.d
Sodio - Na - ppm	i.n.d	i.n.d	0,1 - 0,4	i.n.d	i.n.d
Cloro - Cl- ppm	i.n.d	i.n.d	< 0,33 >	0,6 +	i.n.d
Cobre -Cu - ppm	< 2,5	< 3	4,0 - 24,0	i.n.d	i.n.d
Cinc -Zn - ppm	< 10	i.n.d	15 - 50	i.n.d	i.n.d
Manganeso -Mn -ppm	< 20	i.n.d	100 - 2.000	i.n.d	i.n.d
Hierro - Fe- ppm	< 8	< 74	30 - 700	i.n.d	i.n.d
Aluminio - Al- ppm	i.n.d	i.n.d	30 100	i.n.d	i.n.d
Boro - B- ppm	< 10	i.n.d	12,0 - 50,0	100 +	i.n.d

i.n.d =Información no disponible

Para la preparación de regímenes nutricionales, los viveristas no pueden seguir ciegamente las prescripciones empleadas por otros viveros. En forma preliminar, se pueden emplear las tablas entregadas en este documento, pero es necesario ajustar los valores a las situaciones de cada vivero.





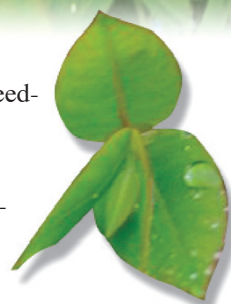
CAPÍTULO 8



REFERENCIAS

- ALEXANDER, A. and M. SCHROEDER. 1987. Modern trends in foliar fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 10(9-16): 1391 – 1399.
- ARMSON, K.A. and U. SADREIKA. 1979. *Forest Tree Nursery. Soil Management and Related Practices*. Ontario, Ministry of Natural Resources. Toronto, Ontario, 179 p.
- ARNON, D. and P. STOUT. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to cooper. *Plant Physiology*. 14: 371- 375.
- ARONSSON, A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) II. Hardiness during winter and spring in young trees of different mineral nutrients status. *Studia Forestalia Suecica* N° 155, 27 p.
- BARNETT, J.P. and J.C. BRISSETTE. 1986. Producing southern pine seedling in containers. Gen Tech. Rep. SO – 59. New Orleans: USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 71 p.
- BIRK, E. M. 1994. Fertiliser use in the management of pine and eucalyptus plantations in Australia: a review of past and current practices. *New Zealand Journal of Forestry Science* 24 (2/3): 289 – 320 p.
- BOARDMAN, R.; M.J. LAMBERT; M. WEBB and R.N. CROMER. 1997. Chapter 10: Forest Plantations, p 503 – 566. In: D.J. REUTER and J.B. ROBINSON (Eds.) *Plant Analysis: an Interpretation Manual*. Second Ed. CSIRO Pub, Australia, 572 p.
- BRAGG, N. and B. CHAMBER. 1986. Interpretation and advisory applications of air-filled porosity (AFP) measurements. *Acta Horticulturae* 221: 35 -44.
- BRIX, H. and R. VAN DEN DRIESSCHE. 1974. Mineral nutrition of container- grown tree seedlings, pp: 77–83. In: TINUS, R.W.; W.I. STEIN; W.E. BALMER (Eds.) *Proceedings of the North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium*; Denver. Pub. 68. USDA Printing Office.

- CARLSON, L.W. 1983. Guidelines for rearing containerized conifer seedling in the Prairie Provinces. Inf. Rep. NOR-X- 21XE. Edmonton, AB: Canadian Forestry Service, Northern Forest Research Center. 64 p.
- CHAPMAN, H.D. 1967. Plant analysis values suggestive of nutrients status of selected crops, pp: 71 – 92. In: Soil Testing and Plant Analysis II. Soil Sci. Soc Amer. Special Pub. Series N° 2.
- CORNETT, Z. 1982. Nutrient and mycorrhizal effects on the root:shoot ratio of containerized ponderosa pine seedlings. Tucson, AZ: University of Arizona. PhD. Dissertation.
- CROMER, R. and E. WILLIAMS. 1982. Biomass and nutrient accumulation in a planted *E. globulus* fertilizer trial. Aust. Journ Bot. 30: 265 – 278.
- CROMER, R.; D. CAMERON and D. FLINN. 1981. Response of *Eucalyptus* species to fertilizer applied soon after planting at several sites. Aust. For 44: 3-13.
- DELL, B. 1996. Diagnosis of nutrient deficiencies in *Eucalyptus*. Pp: 417 – 440. In: P. Attiwill and M. Adams (Eds.) Nutrition of Eucalypts. CSIRO Australia, 439 p.
- DURYEA, M.L (Ed.) 1985. Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests. Workshop. Forest Research Laboratory Oregon State University.
- DURYEA, M.L. and K.M. McCLAIN. 1984. Altering seedling physiology to improve reforestation success, pp: 77 –114. In: M.L. DURYEA and G.N. BROWN (eds). Seedling Physiology and Reforestation Success. Martinus Nijhoff/Dr Junk. The Hague.
- EPSTEIN. E. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. John Wiley and Sons. N.Y, 412 p.
- ETTER, H.M. 1971. Nitrogen and phosphorus requirements during the early growth of white spruce seedlings. Canadian Journal of Plant Sciences 51:61-63.
- GILLIAM, C.H.; S.M. STILL; S. MOOR; and M.E. WATSON. 1980. Effects of three nitrogen levels on container – grown *Acer rubrum*. HortScience 15 (5): 641 – 642.
- GOODWIN, O.; D. BRENNMAN and W. BOYETTE. 1981. Container seedling survival and growth: pine and hardwood in North Caroline. 125 – 132. In: GUILIN and BARNETT (eds) 1981. Southern containerized forest tree seedling conference, southern forest experiment station. Savannah, Georgia.
- HALLET, R.D. 1985. Forest nursery practices in the Maritimes pp: 81-107. In: R.D. HALLET; M.D CAMERON; T.S. MURRAY. (Eds) Proceeding. Reforestation in the Maritimes, 1984. Canadian Forestry Service, Maritimes Forest Research Centre.



INGESTAD, T. 1979. Mineral nutrients requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiology Plantarum*, 45: 373-380.

INGESTAD, T. 1981. Nutrition and growth of birch and grey alder seedlings in low conductivity solutions and at varied relative rates of nutrient addition. *Physiol. Plant* 52: 454-466.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. 2006. Madera- Material de propagación de uso forestal. Parte 0: Producción y comercialización. NCh 2957/O. Of 2006.

JARRELL, W.M. and R.B. BEVERLY, 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*. Vol 34: 197 – 223.

JONES, J.B. 1983. *A Guide for the Hydroponic and Soilless Culture Growers*. Portland, OR. Timber Press, 124 p.

JONES, J.B. and M.J. STEYN. 1973. Sampling, handling and analyzing plant tissues samples, pp: 249 – 270. In: L.M. WALSH and J.D. BEATON (eds). *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Sci. Soc. Am. Madison.

KNIGHT. P. J. 1978. Fertilizers practices in New Zealand forest nurseries. *N.Z.J.For. Sci.* 8: 27-53.

KOSLOWSKI, T.; P. KRAMER and S. PALLARDY. 1999. *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press. NY. 657 p.

KRUEGER, K.W. 1967. foliar mineral content of forest and nursery grown Douglas fir seedlings. USDA FS, Res. Paper PNW-45, 12 p.

LAMBERT, M.J. 1984. The use of foliar analysis in fertilizer research. In: *Symposium on site and productivity of fast growing plantations*, pp: 269 – 292. IUFRO. Pretoria and Pietermaritzburg, South Africa.

LANDIS, T.D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. pp: 21-48. In: M.L. DURYEA (Ed.) *Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests*. Workshop. Forest Research Laboratory Oregon State University.

LANDIS, T.D.; R.W. TINUS; S.E. MC DONALD and J.P. BARNETT. 1989. *Seedling Nutrition and Irrigation*. Vol. 4. *The Container Tree Nursery Manual*. Agric. Handbook N° 674. USDA. 119 p.

LARCHER, W. 2001. *Physiological Plant Ecology*. 4th. Edition. Springer – Verlag. Berlin.

LEAF, A.L. 1965. Soil and tissue analysis methodology, pp: 64 –72. In: Proc. Nursery Soil Improvement Session. Jan 25-26. State University of New York, Syracuse.

LEAF, A.L. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing forest, pp: 427 – 454. In: L.WALSH and J. BEATON (Eds.) Soil testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. of America. Madison, USA. 485 p.

LEAF, A.L. 1975. Northeast approach to soil and plant testing to improve seedling growth and quality, pp: 155 – 185. In: Proc. Service wide Conference on planting stock production. Coeur d’Aline I.D. Sept 16-17. USDA F.S Timber Management Washington D.C.

MARONEK, D.; D. STUDEBAKER and B. OBERLY. 1986. Improving media aeration in liner and container production. International plant propagators society combined proceeding 35: 591 – 597.

MARSCHNER, H. 1996. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. New York, 674 p.

MARX, D.H. and D.S. KENNEY. 1982. Production of Ectomycorrhizal Inoculum. In: N.C SCHENCK (Ed.) Methods and Principles of Mycorrhizal Research. American Phytopathology Soc. St Paul, 131 p.

MARX, D.; C. CORDELL and P. KORMANIK. 1989. Mycorrhizae: Benefits and Practical applications in Forest Trees Nurseries. Pp: 18 - 21.

MENGEL, K. and E.A. KIRKBY. 1987. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. Bern, Switzerland. Fourth Edition. 687 p.

MORRISON, I.K. 1974. Mineral nutrition of conifers with special reference to nutrient status interpretation: a review of literature. Pub. 1343. Ottawa: Department of the Environment, Canadian Forestry, 73 p.

MULLIN, T.J. and R.T. HALLET. 1983. Fertilization of containerized tree seedlings by the replacement method. Tech. Note 93, Fredericton. Canadian Forestry Services. 8 p

NEW ZEALAND FOREST SERVICE. 1981. Forest Nursery and Establishment Practice in New Zealand. RI Symposium N° 22.

PETERS BULLETIN PTB 114. 1994. Peters excel water soluble fertilizers. The Scotts Company, Marysville, Ohio. USA.

PHILLION, B.J. and M. LIBBY. 1984. Growth of potted black spruce seedlings at a range of fertilizer levels. The Plant Propagator 30 (2): 10- 11.

PRADO, J.A. and J.A. TORO. 1996. Silviculture of Eucalypts Plantations in Chile. Pp 357 – 369. In: P. ATTWILL and M.ADAMS (Eds.) Nutrition of Eucalypts. CSIRO Australia, 439 p.



ROMAN, S. 2001. Libro Azul: Manual básico de fertirriego. Orientación al uso de fertilizantes solubles. Soquimich Comercial S.A. Santiago, Chile. 177 p.

ROSE, R.; W. CARLSON and P. MORGAN. 1991. The Target Seedling Concept p 1-9. In: ROSE, R.; S. J. CAMPBELL and T. LANDIS (Eds). Target Seedling Symposium: Proceeding, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. USDA, Fort Collins, Colorado, 286 p.

SCARRAT, J.B. 1986. An evaluation of some commercial soluble fertilizers for culture of jack pine container stock. Inf. Rep. O-X-377. Sault Ste. Marie, ON: Canadian Forestry Service, Great Lakes Forestry Centre. 21 p.

SCHONAU, A.P.G. 1982. Additional effects of fertilizing on several foliar nutrient concentrations and ratios in *Eucalyptus grandis*. Fertilizer Research vol 3: 385 – 397.

SCHONAU, A.P.G. and M.A. HERBERT. 1988. Fertilizing eucalypts at plantation establishment. In: Actas Simposio Manejo Silvícola del género *Eucalyptus*. Instituto Forestal Santiago.

STONE, J.M. 1980. Hardwood seedling production. What are the fertility requirements? pp. 121- 128. In: Proceeding of the North American Forest Tree Nursery, Soil Workshop. SUNY. Syracuse, N.Y.

SWAN, H.S.D. 1971. Relationships between nutrient supply, growth and nutrient concentrations in the foliage of white and red spruce. Pointe Claire, Quebec: Pulp and Paper Research Institute of Canada; Woodlands Paper N° 29. 27 p.

TIMMER, V.R. and G. ARMSTRONG. 1987. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings: comparative plant analyses. Soil Sci. Soc of Am J. 51: 1082 –1086.

TIMMER, V.R. and W.J. PARTON. 1982. Monitoring nutrient status of containerized seedlings. Pp: 48 –58. In: Proceedings, Ontario, Ministry of Natural Resources. Nurseryman's Meeting.

TINUS, R.W. 1980. Nature and Management of Soil pH and Salinity. In: Proceedings North American Forest Tree Nursery Soils Workshop. Syracuse, NY. College of Environmental Science and Forestry. Pp: 72-86.

TINUS, R.W. and S.E. McDONALD. 1979. How to grow tree seedlings in containers in green houses. Gen. Tech. Rep. R.M – 60, 256 p.

TISDALE, S.L.; W.L. NELSON; J. BEATON and J. HAVLIN. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. Fifth Ed. Macmillan Pub. Co. 635 p.

TORBERT, J.L.; J.A. BURGER and R.E. KREH. 1986. Nutrient concentration effects on *Pisolithus tinctorius* development on containerized loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings. Tree Planters Note. 37 (3): 17 – 22.

TROFYMOW, J.A. and R. VAN DEN DRIESSCHE. 1991. Chapter 8: Mycorrhizas, pp: 183 – 228. In: VAN DEN DRIESSCHE (Ed.) 1991. Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC Press. USA, 272 p.

VAN EERDEN, E. 1974. Growing season production of western conifers. In: TINUS, R; W. STEIN and W. BALMER (eds). Proceedings, North American containerized forest tree seedling symposium. Denver, Co. pub 68. Great Plains agricultural council, pp: 93-103.

WARING, H.D. 1972. Pinus radiata and the nitrogen- phosphorus interactions. (R.Boardman Ed.) Proc. Aust. Forest Tree Nutrition Conference, 1971. Canberra.

WEETMAN, G.F., and C.G.WELLS. 1990. Plant Analyses as an Aid in Fertilizing Forests. In Soil Testing and Plant Analysis. 3rd ed. Soil Science Society of America. Book Series N° 3.

WESTERN FERTILIZER HANDBOOK. 1990. Horticulture Edition. Soil Improvement Committee. California Fertilizer Association. Interstate Publishers Inc. Illinois, 279 p.

YOUNGBERG, C.T. 1980. Benefits of soil and plant analysis to nursery management, p 261 – 268. In: Proceeding of the North American Forest Tree Nursery, Soil Workshop. SUNY. Syracuse, N.Y.











