

6.
FERTILIZACIÓN



6. FERTILIZACIÓN

Durante el período de germinación en las almacigueras, las plántulas sostienen sus demandas mediante el consumo de las reservas que ellas mismas poseen, por lo cual, los sustratos de germinación no requieren, necesariamente, de la aplicación de soluciones nutritivas adicionales (Arnold, 1996). Una vez que la planta inicia el período de máximo crecimiento vegetativo, lo que demanda altos consumos de nutrientes, estos deben ser suministrados mediante fertilización mineral.

Diversas estrategias de fertilización pueden ser utilizadas para inducir ciertas características morfológicas y fisiológicas en las plantas, de modo que éstas respondan haciéndose más resistentes o aumentando su potencial de crecimiento. La tendencia es estimular que la planta crezca rápido en el inicio para luego apoyar el endurecimiento de la planta de tal forma que resista el estrés de la cosecha y el establecimiento.

Igualmente, un adecuado manejo de la fertilidad del sustrato y nutrición de las plántulas permite inducir cierta resistencia a factores atmosféricos negativos como las heladas, todo lo cual es complementado con manejos radiculares.

Los requerimientos nutricionales están en directa relación con el estado de desarrollo de la planta. Cuando ésta asenta sus raíces en el sustrato, cantidades suficientes de fertilizantes deben ser aplicadas para satisfacer su demanda estacional. Altas tasas de fertilización, superiores a las

demandas, ocasionan pérdidas por lixiviación y volatilización, a la vez que contribuyen al desarrollo de enfermedades y vegetación competitiva. Tasas de aplicación menores a las requeridas provocan tamaños más pequeños, menores resistencias a factores atmosféricos, plagas y enfermedades, a su vez, tasas más bajas de sobrevivencia en plantación.

Un indicador de suficiencia para el contenido de fertilizantes en el suelo puede ser la concentración foliar de los nutrientes. Bajos niveles foliares de algún elemento pueden indicar bajo contenido de ellos en el suelo, siempre y cuando otros factores como el riego y el pH no sean limitantes. De esta forma mediciones periódicas de nutrientes foliares pueden llegar a ser un indicador, tanto de las necesidades de fertilización, como sobre la oportunidad en que ésta debe efectuarse.

Existe un valor de concentración de nutrientes en el tejido de las plantas más allá del cual no hay respuesta en crecimiento. Este valor corresponde al "Punto Crítico", y a partir de él se establece lo que se denomina "Rango óptimo de Concentración" (Escobar, 1995). Concentraciones mayores indican que la planta se encuentra en un estado de consumo de lujo que puede llevar a generar síntomas de toxicidad indeseados. De ahí la importancia de ser eficientes en la aplicación de fertilizantes en el suelo. Valores de concentración foliar de nutrientes en su rango óptimo para especies forestales en Chile, se entregan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Rangos óptimos de concentración de nutrientes (NCh 2957/5, 2006).

Tipo	Nutriente	Símbolo	Rango adecuado
Macronutriente	Nitrógeno	N	1,40% a 2,50%
	Fósforo	P	0,15% 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	0,10% a 0,20%
Micronutriente	Hierro	Fe	50 µg/g a 400 µg/g
	Manganeso	Mn	100 µg/g a 1 250 µg/g
	Zinc	Zn	10 µg/g a 150 µg/g
	Cobre	Cu	6 µg/g a 100 µg/g a)
	Boro	B	10 µg/g a 100 µg/g

Una buena guía para determinar las necesidades de fertilización es la cantidad de nutrientes removidos por las plantas desde el suelo (Donoso *et al.* 1999). Agregan, sin embargo, que este indicador no debe ser tomado estrictamente al momento de suplir fertilizantes al suelo, debido a que existen además, pérdidas por lixiviación, descomposición o fijación en el suelo.

Monitoreo de las propiedades químicas del suelo permitendeterminarlaexistenciadedesequilibrios nutricionales que afectan la absorción y, por lo tanto, ayudan a programar las aplicaciones de enmiendas y fertilizantes. Indicadores visuales de deficiencia como la decoloración de las hojas y un aspecto débil, pueden también ser utilizados para determinar la falta de nutrientes (Figura 3). Debe ponerse atención cuando la deficiencia no es detectable en forma visual, estado que se denomina "Hambre Oculta" y que se manifiesta con menor crecimiento (Escobar, 1995).

Por lo general, aquellos suelos que poseen valores de fósforo Olsen mayores a 24 ppm y/o valores de potasio mayores a 150 ppm no requieren aplicaciones suplementarias de esos elementos. Por su parte, el nitrógeno, debido a su carácter altamente dinámico en el suelo, requiere de aplicaciones suplementarias durante

todo el período de crecimiento de las plantas. Su aplicación debe realizarse en parcialidades durante este período.

6.1 Estado nutricional

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):

- 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;
- Cada elemento debe tener una función específica y no puede ser reemplazado por otro;
- El elemento debe ejercer un efecto directo en el crecimiento y metabolismo de la planta.

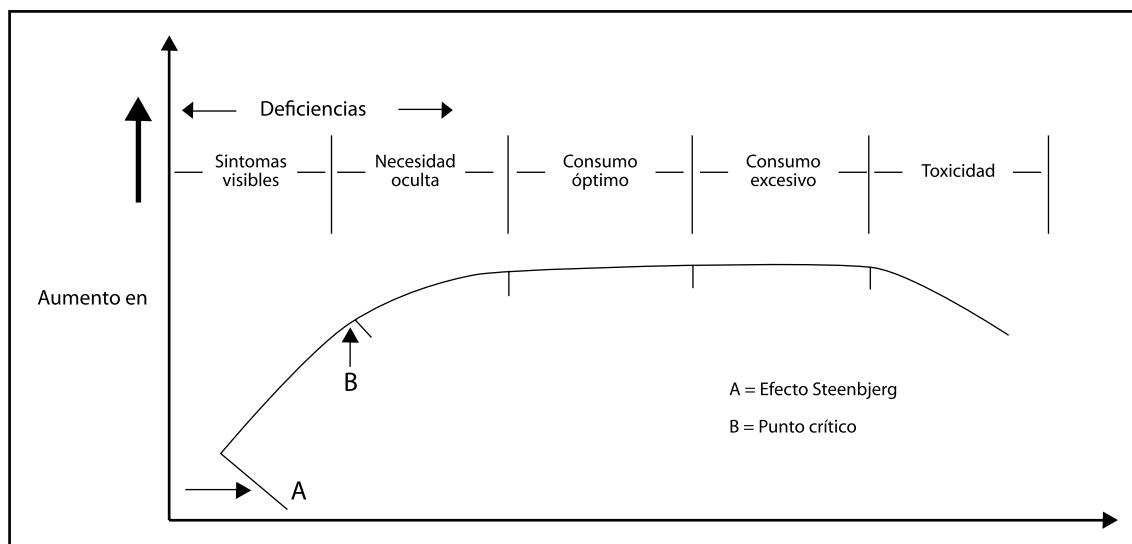


Figura 3. A medida que aumenta la concentración de un elemento esencial, en rangos definidos, aumenta el crecimiento de la plántula. Un exceso o un déficit en la concentración de un determinado elemento, afecta de inmediato el rendimiento, el cual disminuye (Chapman, 1967, cit. por Toro y Quiroz, 2007).

6.1.1 Nutrientes Esenciales

Se han identificado trece elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. Seis de ellos se clasifican como macronutrientes y siete como microelementos.

Los macro nutrientes son necesarios en cantidades relativamente elevadas. Los micronutrientes o elementos "traza", son importantes para el crecimiento de las plántulas, pero en cantidades menores.

No sólo es importante la concentración total de cada elemento, sino que también la proporción relativa de cada uno. El Cuadro 13 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.

6.1.2 Absorción y Utilización de Nutrientes

Una vez que los fertilizantes se han incorporado al sustrato mediante el fertiriego, 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 (NH_4^+) y fosfato (H_2PO_4^-); el cloruro de potasio, se disocia en los iones cloruro (Cl^-) y potasio (K^+); el sulfato de magnesio, produce los iones sulfato (SO_4^-) 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*.

Cuadro 13. Elementos esenciales diferenciados en macro y micro nutrientes (Epstein, 1972).

Elementos Esenciales	Símbolo químico	Peso atómico	Peso Equivalente	Concentración normal en tejidos (Peso seco %)
Macronutrientes				
Nitrógeno	N	14	4,7	1,5
Nitrato	NO ₃ ⁻	62	62	nd
Amonio	NH ₄ ⁺	18	18	nd
Fósforo	P	31	10,3	0,2
Fosfato	H ₂ PO ₄ ⁻	97	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	48	n d
Micronutrientes				
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

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.

Son también variadas y disímiles estas relaciones entre un suelo de un bosque natural, cultivos en vivero a raíz desnuda y también sobre cultivo en contenedor. Estos factores deben ser considerados cuando se diseña un programa de fertilización, pues tienen influencia significativa sobre la disponibilidad de los elementos minerales, esto estaría condicionado por el pH, el medio del crecimiento y el volumen del contenedor (Escobar, 2007).

pH: Por definición el pH es una medida relativa de la concentración de iones hidrógeno (H⁺) expresada en una escala logarítmica. Los valores de pH varían de 0 (muy ácido) a 14 (muy alcalino), con 7 representando neutralidad. El principal efecto del pH en los suelos minerales, radica en

su influencia en la disponibilidad de nutrientes minerales, especialmente microelementos; varios nutrientes minerales pueden hacerse no disponibles o incluso tóxicos con valores extremos de pH. La comparación del efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes minerales en suelos minerales y orgánicos (Figura 4), muestra que el máximo de disponibilidad para suelos orgánicos está por debajo (pH 5,5) de los suelos minerales (pH 6,5). Frecuentemente los materiales y mezclas empleados como sustratos tienen valores de pH fuera del rango óptimo, presentándose problemas relacionados a la disponibilidad de los nutrientes para la planta, la cual, en casos extremos, puede presentar síntomas visuales de deficiencia nutricional aún cuando la solución del medio de cultivo contiene valores adecuados de nutrientes (Escobar, 2007).

Medio de crecimiento: Independiente del sistema de producción que se esté utilizando, el medio de crecimiento debe proporcionar a la planta un continuo y gran aprovisionamiento de agua para el crecimiento y otros procesos fisiológicos, como es el enfriamiento a través de la transpiración. El medio de crecimiento debe proporcionar además una adecuada aireación ya que los tejidos de las raíces gastan energía para el crecimiento y otros procesos fisiológicos, como la absorción de nutrientes minerales de la solución del medio. La energía para estos procesos fisiológicos es generada por la respiración aeróbica que requiere una cantidad establecida de oxígeno. El subproducto de esta respiración es el dióxido de carbono (CO₂), que puede ser acumulado hasta niveles tóxicos si no es dispersado en la atmósfera. Por ello, el sustrato debe ser lo suficientemente

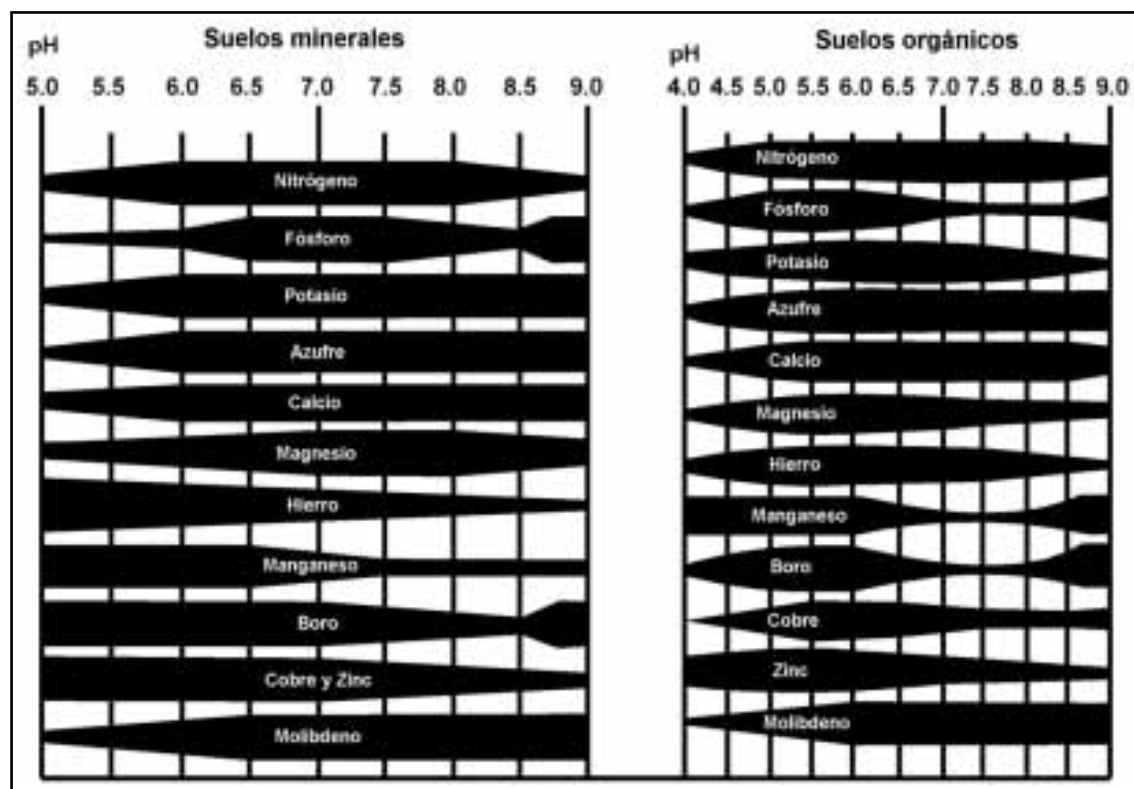


Figura 4. Disponibilidad relativa de los nutrientes en suelos minerales y suelos con base orgánica (Landis et al., 1989).

poroso para facilitar un eficiente intercambio de oxígeno y bióxido de carbono. Otra función del medio de crecimiento es anclar o dar soporte físico a la planta en el contenedor y mantenerla en una posición vertical. Este soporte es una función de la densidad (peso relativo) y de la rigidez del sustrato (Escobar, 2007).

Volumen del contenedor: Una de las consideraciones más importantes en la fertilización de plantas en contenedor, los viveristas deben asegurarse de que el medio de crecimiento contenga una cantidad constante y balanceada de todos los nutrientes minerales esenciales (Escobar, 2007).

6.1.3 Macronutrientes y Micronutrientes

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 micro nutriente. Los macro nutrientes son: nitrógeno (N); fósforo (P); potasio (K); magnesio (Mg); calcio (Ca) y azufre (S) (Toro y Quiroz, 2007).

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 micro elementos conocidos a la fecha, son: hierro (Fe); manganeso (Mn); zinc (Zn); cobre (Cu); boro (B); cloro (Cl) y molibdeno (Mo) (Toro y Quiroz, 2007).

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 clasificaciones son adecuadas, y su empleo dependerá del objetivo del estudio.

6.1.4 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 (Toro y Quiroz, 2007).

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 micro-elementos.

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.

6.1.5 Rol Fisiológico de los Nutrientes

La principal función de los nutrientes nitrógeno, azufre y fósforo, es servir como constituyentes de proteínas y ácidos nucleicos. 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 (Toro y Quiroz, 2007). 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 14).

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.

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.

Cuadro 14. Funciones bioquímicas realizadas por los diferentes elementos esenciales y su ubicación en grupos con actividades específicas (Mengel y Kirkby, 1987; Larcher, 2001 cit. por Toro y Quiroz, 2007).

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 de CO ₂ , H ₂ O, 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 forma de fosfatos, ácido bórico o borato de la solución del medio de crecimiento.	Esterificación por grupos alcoholes nativos. Los ésteres fosfato están involucrados en reacciones de transferencia de energía.
Grupo 3		
Potasio (K) Magnesio (Mg) Calcio (Ca) Manganeso (Mn) Cloro (Cl)	En forma de iones incorporados en la solución del medio de crecimiento.	Funciones no específica 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.

La manifestación de síntomas o signos de deficiencia en las plantas independiente del sistema de producción, está supeditada a una inadecuada disponibilidad de elementos. Esta disponibilidad a nivel de medio de cultivo puede deberse a:

a) Baja concentración del elemento en cuestión en el substrato o en la solución nutritiva;

b) El elemento está presente, pero no se encuentra en una forma química disponible o asimilable por la planta;

c) Puede desarrollarse una deficiencia debido a los efectos de un antagonismo entre distintos elementos, de tal forma que la presencia de un elemento en una determina concentración puede impedir la absorción de otro.

Cuadro 15. Descripción de los Síntomas provocados en la planta por la insuficiencia o exceso de elementos nutritivos (Penningsfeld *et al.*, 1966, Bossard, 1969 cit. por Foucard, 1997).

Elementos Nutritivos		Insuficiencia	Exceso
Nitrógeno	Parte Aérea	Follaje amarillento de modo uniforme. Tallos delgados, follaje insuficiente.	Estimulación de crecimiento de las hojas a costa de las flores. Tejidos tiernos con paredes delgadas. En casos graves, clorosis de los bordes de las hojas hasta entre los nervios, teniendo a necrosis y desecación. Exceso de presión osmótica. Marchitez.
	Raíces	Raíces muy largas, poco ramificadas y blancas.	Necrosis radiculares, poco crecimiento.
Fosforo	Parte Aérea	Enrojecimiento del tallo y de peciolo de las flores; ángulo de los nervios muy agudo; acortamiento de los entrenudos. Enanismo general de la plantas.	Amarillamiento general, ennegrecimiento de las extremidades del borde de las hojas, seguidos de necrosis.
	Raíces	-	Necrosis radiculares, poco crecimiento.
Potasio	Parte Aérea	Clorosis, después ennegrecimiento de los bordes del limbo de las hojas en la base, pudiendo extenderse entre los nervios y evolucionando hacia la necrosis. Hojas jóvenes más o menos enrolladas.	Sin síntomas específicos. Acción indirecta por antagonismo k/Mg o K /Ca. Marchitez provocada por el exceso de presión osmótica.
	Raíces	Raíces amarillas pálido, poco ramificadas.	Necrosis radiculares, poco crecimiento.
Calcio	Parte Aérea	Hojas verde oscuro tendiendo hacia clorosis de las puntas y bordes de las puntas y bordes de las hojas jóvenes, después internerval, necrosis posibles. Crecimiento débil, paredes celulares frágiles, malformación de las hojas, yemas terminales ennegrecidas.	Efecto sobre la utilización insuficiente del hierro y manganeso, Clorosis internerval y manchas necróticas crecimiento disminuido planta lánguida.
	Raíces	Raíces cortas, muy ramificadas, hinchadas en la extremidad muriendo por la punta.	-

Elementos Nutritivos		Insuficiencia	Exceso
Magnesio	Parte Aérea	Elaboración obstaculizada de la clorofila. Clorosis en la parte inferior de las hojas, principalmente manchas internervales irregulares. El resto del limbo permanece verde. El vértice de las hojas tiene a veces tendencia a enrollarse.	Provoca un desequilibrio por absorción insuficiente de K. Crecimiento exagerado de los tallos, floración disminuida. EN Casos graves, hojas verde oscuro, más pequeñas. Hojas jóvenes enrolladas. Las extremidades de los tallos se marchitan.
	Raíces	Raíces largas, poco ramificadas.	Fuerte crecimiento de las raíces.
Azufre	Parte Aérea	Planta entera clorótica, sobre todo las hojas jóvenes. Hojas gruesas y duras. Tallos cortos, leñosos.	Hojas Cloróticas, más pequeñas curvándose hacia adentro, pústulas en el borde, ennegrecimiento marginal. Tallos duros, amarillamiento de la extremidad.
	Raíces	Numerosas raíces blancas y ramificadas.	Raíces muy numerosas, blancas y ramosas.
Hierro	Parte Aérea	Clorosis internerval evolucionando hacia el amarillamiento general del limbo de las hojas jóvenes. Tallos delgados.	Exceso raro. En casos graves, clorosis general.
	Raíces	-	Necrosis radiculares.
Manganeso	Parte Aérea	Clorosis internerval de las hojas jóvenes evolucionando hacia manchas necróticas pardas. Los nervios permanecen verdes.	En casos graves, aspecto clorótico. Hojas torcidas y rizadas.
Cobre	Parte Aérea	Clorosis de las hojas jóvenes, plantas lánguidas que se secan fácilmente.	Clorosis de las hojas con manchas pardas. Los nervios permanecen verdes.
Zinc	Parte Aérea	Clorosis moteada de las hojas jóvenes, seguidas de necrosis y caída de las hojas.	Clorosis sobre todo de las hojas jóvenes, incluidas los nervios. Las hojas viejas tienen los nervios rojos o negros, después se secan. Las yemas terminales mueren.
Boro	Parte Aérea	Enrojecimiento de las hojas, que se vuelven verde claro. Con frecuencia, manchas pardas en los tallos, el ápice muere, las yemas inferiores se desarrollan.	Amarillamiento del borde de las hojas extendiéndose a toda la superficie, dejando grandes manchas pardas en los bordes, después caída de las hojas.
	Raíces	Raíces amarillas o pardas, arrugadas, que se pudren en el cuello.	-

Las alteraciones metabólicas con la consiguiente disminución en el rendimiento, pueden tener lugar sin que aparezcan ningún signo de deficiencia, o mucho antes de que tales síntomas aparezcan, por lo que es necesario disponer de un método que permita conocer en un momento dado el estado nutricional de la planta (Escobar, 2007).

La identificación visual de una determinada deficiencia sólo está al alcance de especialistas

muy familiarizados con los síntomas de deficiencia, y aún a veces esta identificación es casi imposible de ser realizada con éxito, ya que en condiciones de campo es muy raro que aparezca una deficiencia de un sólo elemento, es más normal que sea múltiple, lo que hace muy difícil dar un diagnóstico basado exclusivamente en la sintomatología (Cuadro 15). Otro factor que dificulta aún más el diagnóstico visual es el hecho que muchos síntomas, como clorosis o

amarillamiento, seguido de necrosis de las áreas cloróticas, son comunes en las deficiencias de varios de los elementos esenciales (Escobar, 2007).

De acuerdo al estado nutricional de las plantas se considera que un alto nivel de nitrógeno en el follaje es un indicador de un mayor potencial de crecimiento inicial. Una cantidad adecuada de fósforo estimula el crecimiento inicial de la parte aérea y la formación de raíces. Por otra parte, altos niveles de potasio también estimulan el desarrollo radicular y son un indicador de mayor resistencia al frío y a enfermedades. Además se ha determinado que altos contenidos de calcio (Ca) en las plantas indican una mayor resistencia a la flexión por el viento (Cuadro 15).

6.2 Programas de fertilización

La formulación de programas de fertilización se consigue mediante el análisis de los nutrientes de las plantas, de modo que puedan ser establecidos rangos típicos para cada época del año. A partir de esto se dictan las curvas de dosis-respuesta para determinar la eficiencia del programa (Montoya y Cámara, 1996).

Independientemente del tipo de fertilizante a usar, el primer paso para desarrollar un programa de fertilización, es determinar qué nutrientes están presentes en el agua de riego, y en qué concentración. El agua natural, usualmente contiene concentraciones apreciables de varios nutrientes para las plantas. Por ejemplo las llamadas "aguas duras" contienen concentraciones altas de calcio y magnesio (Ca y Mg), que podrían ser suficientes para satisfacer parcial o totalmente los requerimientos de las plantas. El pH y la conductividad eléctrica (CE) del agua, son elementos que siempre deben ser monitoreados permanentemente junto con los nutrientes. La conductividad eléctrica, es la concentración relativa de sales disueltas en el agua de riego, y es reportada en unidades de microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Cada vivero debería tener

sus propios medidores de pH y de CE, y debería realizar sus propias pruebas con regularidad, para supervisar los cambios en la calidad del agua (Escobar, 2007). Para mayores antecedentes sobre los factores que deben considerarse para desarrollar un programa de fertilización se encuentran en: Escobar (2007) y Toro y Quiroz (2007).

Si bien muchos viveros aplican programas de fertilización tentativos, de acuerdo a experiencias anteriores y a recomendaciones bibliográficas o del vendedor del producto, la tendencia es que los productores aplican generalmente sus propios programas de fertilización, de acuerdo a los análisis de nutricionales que representan la condición del vivero.

Los nutrientes en las plántulas se translocan, estimulando el crecimiento, dependiendo de las necesidades del vegetal (Ocaña, 1995). La fertilización de la planta producida en contenedor presenta algunas particularidades que la hacen diferente del proceso a raíz desnuda. Estas se relacionan principalmente con los sustratos empleados. Generalmente los sustratos artificiales de los contenedores permiten programaciones más precisas de fertilización debido a su baja fertilidad inicial (Dumroese *et al.*, 1998). Según Escobar (1999), los requerimientos nutricionales de las plantas varían de acuerdo a la etapa de desarrollo en que se encuentren; esto es: crecimiento inicial, crecimiento pleno y endurecimiento.

En la fase de crecimiento inicial, la planta requiere fortificar su sistema radicular secundario con el objeto de aumentar su eficiencia en los procesos de absorción, para ello el programa de fertilización debe ser rico principalmente en fósforo. En la etapa intermedia, de crecimiento máximo, la fertilización debe ser abundante en nitrógeno y fósforo, y debe ser complementada con el resto de macro y micronutrientes. Una vez que las plantas han alcanzado las dimensiones deseadas, al término del período de producción, la fertilización debe ser alta en potasio y calcio.

Los fertilizantes normalmente se aplican disueltos en agua por fertirrigación, utilizando los mismos sistemas de riego, mediante mezclas granulares con el sustrato o aplicaciones superficiales sobre éste. Una forma eficiente de aplicar un programa de fertilización inicial se puede basar en un análisis nutricional del sustrato. Sobre la base de las deficiencias que en el puedan determinarse se deben incorporar nutrientes específicos que incentiven la germinación y el crecimiento inicial de las plantas. Esto es particularmente importante en sustratos de corteza de pino que no son compostados (inertes), o si este proceso es mínimo.

Los valores del Cuadro 16 para las distintas fases de viverización han sido probados exitosamente en diferentes especies viverizadas a raíz cubierta, entre las cuales se pueden destacar Eucalipto globulus, Pino radiata y Quillay, entre otras. Dependiendo del esquema de riego utilizado en el vivero, se debe aplicar entre dos y tres veces a la semana (Escobar, 2007).

Cuadro 16. Concentración óptima para 13 elementos esenciales en soluciones de fertilizantes líquido (Landis *et al.*, 1989).

Nutriente Mineral	Dosis óptima de aplicación (ppm)		
	Crecimiento Inicial	crecimiento Pleno	Endurecimiento
Macronutrientes			
N	50	150	50
P	100	60	60
K	100	150	150
Ca	80	80	80
Mg	40	40	40
S	60	60	60
Micronutrientes			
Fe	4.0	4.0	4.0
Mn	0.8	0.8	0.8
Zn	0.32	0.32	0.32
Cu	0.15	0.15	0.15
B	0.5	0.5	0.5
Cl	4.0	4.0	4.0

