



# Nutrición mineral de frutales de clima templado

Enrique Sánchez y Mariela Curetti

**INTA** | Ediciones

Colección  
**DIVULGACIÓN**

# Nutrición mineral de frutales de clima templado

*Enrique Sánchez y Mariela Curetti*



Ministerio de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
Argentina

*Centro Regional Patagonia Norte  
Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle  
2021*

634.1      Sánchez, Enrique  
S21        Nutrición mineral de frutales de clima templados / Enrique  
              Sánchez y Mariela Curetti. – Buenos Aires : Ediciones INTA,  
              Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle, 2021.  
              243 p. : il. (en PDF)

ISBN 978-987-8333-93-9 (digital)

i. Curetti, Mariela. ii. título

FRUTICULTURA – NUTRICION DE LAS PLANTAS – ZONA TEMPLADA – SUELO –  
APLICACIÓN DE ABONOS

DD-INTA

*Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto, queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899.*

**Diseño:**

Sebastián Izaguirre, INTA Alto Valle

*Este libro  
cuenta con licencia:*



## CONTENIDOS

<b>4</b>	Prólogo
<b>4</b>	Presentación
<b>5</b>	1. Nutrición vegetal. Un enfoque integral
<b>14</b>	2. El sistema radical de los frutales
<b>29</b>	3. Absorción de nutrientes
<b>37</b>	4. El suelo como soporte y sustrato
<b>53</b>	5. El suelo y la vida que no vemos
<b>64</b>	6. Manejo de suelos en montes frutales
<b>79</b>	7. Diagnóstico nutricional
<b>98</b>	8. Nutrición nitrogenada
<b>127</b>	9. Fósforo, Potasio, Magnesio y Azufre
<b>142</b>	10. Micronutrientes
<b>163</b>	11. Fertilizantes químicos aplicados al suelo
<b>179</b>	12. Fertilización foliar
<b>199</b>	13. Fertirriego
<b>213</b>	14. Nutrición y calidad de la fruta de pepita y carozo
<b>237</b>	15. Una síntesis general

## PRÓLOGO

Es un orgullo presentar esta nueva publicación de INTA que trata un tema de gran importancia para la sostenibilidad de la producción, tal es la fertilidad de los suelos y su manejo, enfocada a cadenas productivas que son fundamentales para el desarrollo de muchas economías extra-pampeanas, como son los frutales de climas templados.

El autor y la autora, a lo largo de los distintos capítulos, desarrollan conceptos básicos sobre el suelo y la nutrición, para luego introducirnos en prácticas agroecológicas para un manejo sostenible del suelo. Finalmente, los últimos capítulos, desarrollan temas de fertilidad y su impacto sobre la producción y su calidad, factores claves para una fruticultura competitiva.

La obra resume la labor realizada como investigador del Ing. Agr. Enrique “Cacho” Sánchez, referente nacional e internacional en la temática, quien a lo largo de su extensa carrera en INTA ha contribuido permanentemente a que el sector frutícola sea un protagonista del desarrollo de nuestro país. Se suma como autora la Ing. Agr. Mariela Curetti, y el libro también refleja la tarea realizada por muchos profesionales del INTA Alto Valle.

Finalmente, mi agradecimiento y reconocimiento a quienes hicieron posible este libro porque constituye una obra fundamental para todos aquellos profesionales, estudiantes y/o fruticultores que quieren profundizar en el manejo de la fertilidad para la producción frutícola sustentable y su impacto en la conservación del suelo.

*Carlos Parera*

## PRESENTACIÓN

En 1999, se publicaba el libro “Nutrición Mineral de Frutales de Pepita y Carozo”, con el objetivo de brindar información concreta al profesional, productor y estudiante que sirva para la toma de decisiones de manejo nutricional de huertos frutales. Los mil ejemplares impresos se agotaron y surgió entonces la necesidad de re escribirlo, ampliando y actualizando bibliografía, pero siempre respetando la información de base que marcó los conceptos fundamentales para el manejo sostenible del suelo y de la nutrición mineral.

En esta obra, los frutales de pepita y carozo siguen teniendo su peso, pero se ha incluido información de otras especies de frutales de clima templado, razón por la cual su título fue modificado.

A lo largo de los quince capítulos se ha enfatizado el enfoque agroecológico, teniendo como centro el suelo y su manejo. El agregado de fertilizantes, sin duda relevante y necesario, debe ser el complemento de la aplicación de técnicas “blandas” y para ello se requiere ser profundo en el diagnóstico y racional al actuar.

Los autores agradecen a la institución y a los compañeros del INTA Alto Valle que contribuyeron a que esta publicación sea posible.

*Los autores*

*capítulo*

# 1

## NUTRICIÓN VEGETAL: UN ENFOQUE INTEGRAL

## INTRODUCCIÓN

La Nutrición Vegetal es la ciencia que estudia la nutrición integral de la planta en un sentido amplio y general. A menudo se confunde con la Nutrición Mineral de las plantas, que es mucho más específica porque se centra en los nutrientes del suelo, su absorción, transporte y utilización. Como toda ciencia biológica, la Nutrición Mineral se apoya en otras disciplinas como la fisiología y bioquímica vegetal, la microbiología, la ecología, la edafología y fertilidad de suelos y el riego.

La fertilización es una de las prácticas culturales más importantes en los cultivos frutales. La necesidad de producir precozmente y a ritmo sostenido en cantidad y calidad a lo largo de los años, requiere la puesta a punto de la fertilización para cada situación en particular. Este concepto es crucial debido a que no existen recetas generales en materia de fertilización, sino más bien recomendaciones en base a un diagnóstico nutricional debidamente fundamentado.

Un programa de fertilización debe tener en claro el objetivo a perseguir de acuerdo a cada situación. Para un productor el problema puede ser la falta de vigor de las plantas, para otro el exceso de crecimiento vegetativo, para algunos la falta de conservación de la fruta en el frigorífico, la alteración fisiológica o tal vez el escaso cuaje. Estos y decenas de otros casos deben ser resueltos en forma integral y con recomendaciones agronómicas distintas. Si bien no existe una recomendación general de amplio espectro, sí existen recomendaciones específicas a emplear en cada situación. Hay casos en que una deficiencia nutricional puede ser el factor desencadenante del problema, en otros es simplemente un componente más. Apreciar la diferencia requiere del conocimiento y la experiencia de quien determina el programa de fertilización.

Para el estudio de la nutrición mineral es necesario tener en cuenta la compleja situación de cada monte frutal y analizarlo como un agroecosistema de producción integrado por diversos factores. Entre los principales factores del monte frutal, podemos mencionar la combinación del portainjerto y la variedad, la edad del monte y su densidad de plantación, el tipo de suelo y su fertilidad, la poda y conducción de los árboles, las condiciones climáticas reinantes y el manejo del riego de la plantación. Cada factor debe ser interpretado en conjunto con el resto y su integración permitiría ser más asertivo en las recomendaciones de manejo nutricional.

## LA NUTRICIÓN VEGETAL

La planta se nutre primariamente del agua y del dióxido de carbono del aire para formar azúcares simples mediante el proceso de la fotosíntesis. A partir de éstos se sintetizan una variada gama de compuestos tales como proteínas, grasas, pigmentos y hormonas necesarios para el funcionamiento celular.

Para que una planta crezca y se desarrolle necesita, además del carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), de otros 14 elementos inorgánicos que conforman los llamados nutrientes esenciales (Cuadro 1.1). Un elemento es "esencial" cuando es requerido por la planta en algún momento de su existencia, no puede ser sustituido por otro y la ausencia del mismo imposibilita al vegetal a cumplir su ciclo de vida.



**Cuadro 1.1.** Elementos químicos esenciales para las plantas y su concentración habitual en los tejidos vegetales.

Elemento	Concentración en materia seca
Carbono (C)	40-50 %
Oxígeno (O)	42-44 %
Hidrógeno (H)	6-7 %
Nitrógeno (N)	1-2 %
Potasio (K)	1-2 %
Fósforo (P)	0,1-0,3 %
Azufre (S)	0,1-0,3 %
Calcio (Ca)	1-2 %
Magnesio (Mg)	0,2-0,4 %
Hierro (Fe)	50-300 ppm
Manganeso (Mn)	20-100 ppm
Boro (B)	20-100 ppm
Cobre (Cu)	2-20 ppm
Cinc (Zn)	15-40 ppm
Molibdeno (Mo)	0,1-1 ppm
Níquel (Ni)	0,5-10 ppm
Cloro (Cl)	100-1000 ppm

Los elementos expresados en porcentaje se agrupan bajo la denominación de macronutrientes, mientras que los expresados en partes por millón son conocidos como micronutrientes. Esta clasificación es arbitraria ya que, por ejemplo, el fósforo en la nutrición mineral de frutales puede considerarse un microelemento si se lo compara con el potasio cuyo requerimiento por el vegetal es varias veces superior.

Cada nutriente cumple en la planta funciones específicas. Carbono, H, O, N y S son constituyentes de material orgánico. El fósforo participa en reacciones de transferencia de energía. Potasio, Ca, Mg y Cl, son encargados de mantener el potencial osmótico de la célula y también participan como activadores enzimáticos. Los metales pesados Fe, Zn, Mn, Cu y Mo forman parte de las enzimas y actúan en el sistema de transferencia de energía.

La nutrición mineral de la planta es dinámica. Pensemos que en una especie perenne, los requerimientos nutricionales varían a lo largo del año; cuando se desarrolla la copa, cuando los frutos cuajan y crecen, y en la poscosecha cuando los nutrientes finalmente migran las reservas. Estos procesos requieren en principio de todos los minerales, sin embargo la cantidad requerida en cada uno de ellos es diferente. Más que nutrir a la planta en sí, se debe nutrir a sus órganos en momentos críticos. Por ejemplo, el boro es requerido en las yemas y flores durante un período muy corto de tiempo pero en una concentración alta. Lo mismo ocurre con el nitrógeno. El calcio es un elemento especial en los frutales, ya que interesa su contenido en los frutos y no tanto en las hojas.

## FISIOLOGÍA DE LA NUTRICIÓN

### Nutrición mineral y fotosíntesis

La productividad de un monte frutal está directamente relacionada con la captación de luz de la copa de los árboles. La nutrición mineral cumple el rol de aportar los elementos necesarios para que la planta haga uso pleno de la energía solar. El objetivo de la producción frutícola es convertir el producto de la fotosíntesis en fruta y no tanto en madera, razón por la cual las labores culturales como la poda, conducción y riego -por mencionar a las más importantes- se complementan con la práctica de fertilizar, para lograr un rendimiento alto en cantidad y calidad.

Las hojas absorben la luz en una zona muy pequeña del espectro, que está comprendida entre los 400 a los 700  $\mu\text{m}$  de longitud de onda. De allí que se mida la captación lumínica en este rango, que es conocido como Radiación Activa para Fotosíntesis (RAF).

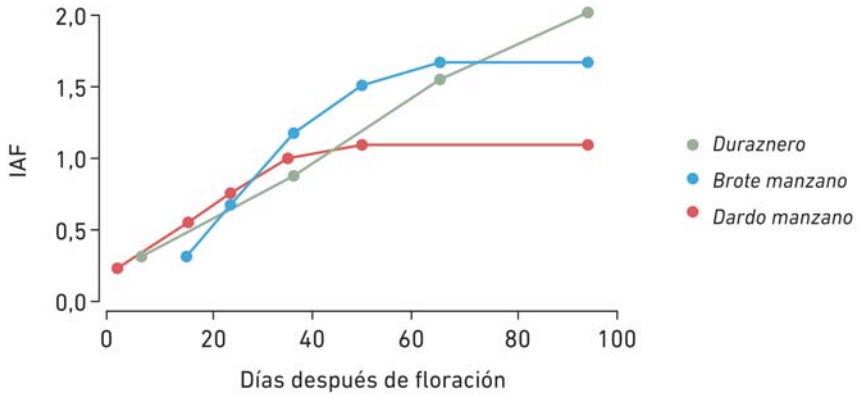
En un monte de alta densidad, cerca del 30 % de la radiación global es absorbida por las hojas (Faust, 1989). Para obtener alta productividad fotosintética la intercepción de luz debe ser maximizada, lo que significa cubrir el máximo espacio posible del monte frutal y lograr una buena distribución de luz en la copa. Si se tratase de un monte recién implantado, el objetivo debe ser cubrir el espacio asignado a cada planta lo más rápido posible.

### Desarrollo del Área Foliar

El área foliar de los frutales se desarrolla rápidamente durante la primavera, se estabiliza hacia el verano y cesa en el otoño cuando se aproxima la caída de las hojas. En el caso de los perales y manzanos, existen dos tipos de hojas, las de los dardos y las de los brotes del año. Las primeras se desarrollan rápidamente, usualmente hasta el período de caída de pétalos. Las segundas se desarrollan a medida que crece el brote y demanda aproximadamente unos 60 días más (Figura 1.1).

Tanto en manzano como en peral, la fructificación se produce principalmente en los dardos reproductivos, también llamados lamburdas. Por esta razón, al principio de la primavera se desarrolla una gran masa foliar. El duraznero en cambio no tiene dardos y el área foliar se desarrolla más lentamente a medida que crecen los brotes del año.

A medida que avanza la estación de crecimiento, el área foliar va incrementándose especialmente si la fertilización nitrogenada es abundante. En consecuencia, zonas de la copa que antes recibían luz ahora permanecen en la sombra, lo que es decir que hojas que antes eran activas en fotosíntesis ahora lo son mucho menos y hasta llegan a ser parásitas. Se cree que un mayor volumen de copa se corresponde con una mayor intercepción de luz pero en realidad esto no es necesariamente así, ya que una gran masa foliar produce sombreado entre las hojas y en consecuencia una menor fotosíntesis.



**Figura 1.1.** Desarrollo del área foliar en manzano y duraznero (datos de Wünsche *et al.*, 1996 y Nuzzo *et al.*, 2002).

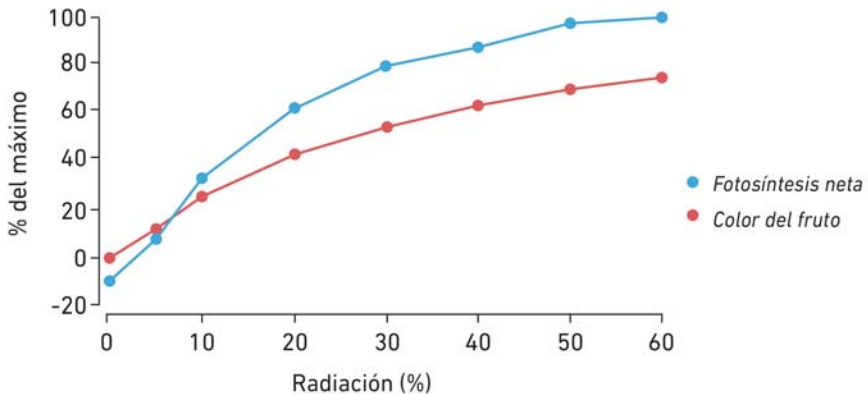
En plantas vigorosas, una porción de la copa no recibe luz suficiente y con el tiempo estas áreas se tornan improductivas como puede apreciarse. En la figura 1.2 se observa como en el árbol de peral de la izquierda la distribución de flores es uniforme mientras que en el de la derecha únicamente la porción superior es productiva. Estas situaciones no se corrigen mejorando la nutrición mineral ya que el factor limitante es la energía solar.



**Figura 1.2.** Distribución de ramilletes florales en árboles de perales según la intercepción de luz.

## Penetración de Luz en la Copa y Fotosíntesis

La penetración de luz en la copa está determinada por el tamaño y la forma que adopte el árbol según el sistema de conducción. Independientemente del sistema de conducción elegido se debe considerar que para lograr un buen desarrollo de los dardos en manzano se necesita aproximadamente un 30 % del máximo de radiación incidente, mientras que para el desarrollo del color rojo en los frutos son necesarios aún mayores niveles de radiación (Figura 1.3). Por lo tanto, el manejo de la copa es fundamental para lograr ese mínimo del 30 % de luz en la mayor parte de su volumen para asegurar buenos niveles de floración.



**Figura 1.3.** Efecto del porcentaje de luz incidente sobre la fotosíntesis neta (Curetti *et al.*, 2014) y el desarrollo del color rojo en fruto de manzanos de crecimiento dardífero (Barrit *et al.*, 1996).

A medida que la copa se desarrolla, las hojas reciben carbohidratos de las reservas hasta que alcanzan aproximadamente el 50 % de su máxima expansión. Paralelamente, la fotosíntesis neta (Pn) aumenta rápidamente y su pico máximo ocurre unos pocos días después de que las hojas están completamente expandidas. En manzano, las hojas de los dardos mantienen una tasa de fotosíntesis constante hasta unas semanas posteriores a la expansión para luego disminuir hasta el período de senescencia.

La Pn de las hojas de los brotes permanece más alta que la Pn de las hojas de los dardos, siendo hasta tres veces mayor en los meses de verano. Es por esto que es necesario un mínimo de crecimiento vegetativo anual para cumplir con las necesidades de carbohidratos de los frutos que no pueden ser alimentados exclusivamente con las hojas de los dardos. En el caso del duraznero el crecimiento del año debe ser balanceado para obtener frutos de tamaño aceptable y suficiente madera para fructificar en la temporada siguiente.

A valores equivalentes de radiación, la fotosíntesis es mayor en la mañana que en la tarde. La temperatura ambiente, el potencial agua y el déficit de presión de vapor varían durante el día y regulan el cierre de estomas, lo cual explicaría dicho fenómeno. Aún en regiones de clima templado, con temperaturas moderadas, es posible encontrar momentos del día en que la planta, o parte de la misma, se encuentra sufriendo algún tipo de estrés que limita el máximo potencial de la fotosíntesis.

## Efecto del Nitrógeno en la Fotosíntesis

El contenido de nitrógeno por unidad de área foliar es un factor determinante de la tasa de fotosíntesis. Una estrecha correlación lineal ha sido obtenida para frutales de carozo (Rosati *et al.*, 1999). Esto resulta lógico si uno piensa que el 50 % del N de la hoja está bajo la forma de la enzima ribulosa 1-5 bifosfato carboxilasa (Rubisco), encargada de incorporar el CO<sub>2</sub> del aire en un molécula orgánica.

Determinados niveles de N resultan beneficiosos para la producción. Una hoja que capta suficiente luz trabaja a pleno y demanda nutrientes. En consecuencia presenta un peso seco por unidad de área superior a una hoja menos expuesta a la luz. Si la planta está equilibrada y bien conducida se puede afirmar que la nutrición se complementa con la actividad fisiológica. Si por el contrario la planta no está equilibrada por presentar poca carga frutal un exceso nutricional, especialmente de nitrógeno provoca efectos no deseados.

La explicación de este fenómeno es simple. En la primavera, las hojas varían su grado de exposición porque aquellas que en un momento recibieron mucha luz, con el tiempo van siendo sombreadas por otras. Si las condiciones ambientales y nutricionales son óptimas, las hojas ubicadas en la parte alta de la copa y en la periferia tendrán una tasa alta de fotosíntesis que promueven el crecimiento apical, con el consiguiente sombreado de las hojas inferiores.

Este desequilibrio debe ser corregido lo antes posible. Una medida acertada sería una poda en verde para disminuir el vigor de la planta y mejorar la entrada de luz en las áreas más afectadas. De lo contrario se observan efectos perjudiciales, como la inhibición del desarrollo de yemas florales, la falta de color de la fruta y el empobrecimiento de estructuras reproductivas.

En variedades tempranas de peras y manzanas usualmente será necesario una única poda de verano. En cambio en variedades tempranas de durazneros y nectarinas usualmente son necesarias dos, una antes de cosecha y otra posterior a ella.

## Transporte de Carbohidratos

El carácter "perenne" de las especies frutales de hojas caduca implica que la planta debe reciclar carbohidratos y minerales almacenados en sus órganos de reserva.

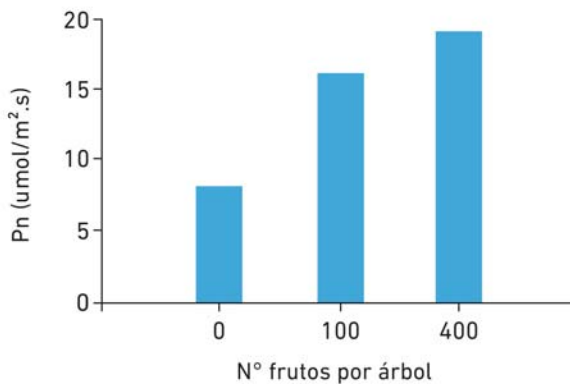
La brotación es un período crítico para el frutal. En ese momento, la planta debe recurrir a las reservas de almidón y azúcares almacenados principalmente en la corteza y madera de las ramas. La raíz cumple un rol importante como órgano de almacenaje de minerales y carbohidratos. Sin embargo, el destino principal de estas reservas es el proceso activo de absorción de nutrientes y el crecimiento estructural de la raíz.

Durante las primeras dos o tres semanas posteriores a la brotación, tanto ramas como raíces actúan como "dadores" o fuentes de sustancias de reserva a las hojas y pequeños frutos. A medida que las hojas se expanden, menor es su dependencia por reservas y mayor su autonomía como suministro de carbohidratos. Estas relaciones se conocen en fisiología vegetal como la relación fuente-destino, siendo la "fuente" el origen o la fábrica de carbohidratos (hojas) y el "destino" aquellos órganos dependientes (frutos, madera y raíz).

Algunos órganos, en algún momento del ciclo de crecimiento pueden actuar alternativamente como fuente y otras veces como destino. Los nuevos brotes actúan como destino en un comienzo, pero cuando sus hojas maduran éstas son fuente de productos de fotosíntesis para otros tejidos y órganos. La corteza y madera de ramas son fuente al comienzo del ciclo de crecimiento, pero al final del mismo son destino importante de reservas. El ciclo se repite temporada tras temporada dando precisamente el carácter de perennidad en estos cultivos.

La planta es una buena administradora de los fotosintatos que producen sus hojas. El destino de los mismos se decide a partir de una competencia interna en el árbol. Entre los destinatarios más importantes figuran los brotes y los frutos. Secundariamente se pueden mencionar a las ramas que están en continuo crecimiento y que además deben almacenar reservas y por último, la raíz que es el competidor más débil de la planta.

Se dice que el destino de fotosintatos está dominado por los "polos de atracción", es decir aquellos sectores de la planta que tienen avidez por llevarse consigo lo que las hojas producen. En fruticultura, se sabe que los frutos son el principal destino de los carbohidratos, ejemplo de ello es que en plantas equilibradas, la presencia de frutos reduce el área foliar en comparación con plantas sin fruta, pero la cantidad total de materia seca es mayor. La interpretación más simple de este comportamiento de la planta es que efectivamente la eficiencia fotosintética es mayor en árboles con fruta que sin ella. Experiencias en manzano dan cuenta que la tasa de fotosíntesis máxima se obtiene con una carga frutal elevada (Wünsche *et al.*, 2005) tal como se observa en la Figura 1.4.



**Figura 1.4.** Tasa de fotosíntesis neta (Pn) en manzano cv. 'Braeburn' según carga frutal a los 120 días después de floración (Wünsche *et al.*, 2005).

Es importante destacar que, a pesar de ser la fotosíntesis más eficiente con una carga frutal alta, deberá existir un equilibrio entre hojas y frutos para que estos últimos tengan un tamaño comercial aceptable. Un ejemplo típico es el duraznero en donde si no se realiza un correcto raleo de frutos, la baja relación hoja/fruto tiene consecuencias productivas para el año en curso y el siguiente, especialmente en variedades tardías. En efecto, una planta con poca hoja no podrá abastecer a los órganos de reserva ni fortalecer las yemas de flor, por lo tanto la producción futura presentará serias limitaciones.

De lo expuesto se deduce que existe un nivel óptimo de área foliar por fruto. A medida que este índice aumenta, mayor es la cantidad de carbohidratos disponibles para el crecimiento de otras partes de la planta. Como se expresó anteriormente, las raíces que son enteramente dependientes de las hojas por carbohidratos, se benefician más cuanto menor sea la competencia con los otros órganos. Una vez que los frutos se cosechan, la planta destina su producto de fotosíntesis a restablecer sus reservas. Si el período entre la cosecha y la caída de hojas es lo suficientemente prolongado, como puede ocurrir en variedades tempranas o en el cerezo, las raíces cuentan con mayores posibilidades de almacenar sustancias de reserva para usarlas convenientemente en crecer y en el mantenimiento de su funcionalidad.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BARRITT, B.H.; KONISHI, B.S.; DRAKE, S.R., & ROM, C.R. 1996. Influence of sunlight level and rootstock on apple fruit quality. *In: VI International Symposium on Integrated Canopy, Rootstock, Environmental Physiology in Orchard Systems* 451 (pp. 569-578).
- CURETTI, M.; GHILARDI, J. & RODRIGUEZ, A.B. 2014. Efecto de las condiciones ambientales y ajuste de un modelo de predicción de la tasa relativa de fotosíntesis como base de la productividad en manzano. xxxvii Congreso de la Asociación Argentina de Horticultura, Mendoza. Libro de resúmenes.
- FAUST, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. John Wiley and Sons, New York.
- NUZZO, V.; DICHIO, B. & XILOYANNIS, C. 2002. Canopy development and light interception in peach trees trained to transverse Y and delayed vase in the first four years after planting. *Acta Horticulturae*, 1, 405-412.
- ROSATI, A.; ESPARZA, G.; DEJONG, T.M. & PEARCY, R.W. 1999. Influence of canopy light environment and nitrogen availability on leaf photosynthetic characteristics and photosynthetic nitrogen-use efficiency of field-grown nectarine trees. *Tree Physiology*, 19(3), 173-180.
- WÜNSCHE, J.N.; LAKSO, A.N.; ROBINSON, T.L.; LENZ, F. & DENNING, S.S. 1996. The bases of productivity in apple production systems: the role of light interception by different shoot types. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121 (5), 886-893.
- WÜNSCHE, J.N.; GREER, D.H.; LAING, W.A. & PALMER, J.W. 2005. Physiological and biochemical leaf and tree responses to crop load in apple. *Tree Physiology*, 25(10), 1253-1263.

*capítulo*

# 2

## EL SISTEMA RADICAL DE LOS FRUTALES



El sistema radical de los frutales, condiciona el crecimiento de la planta en su conjunto pero a pesar de la importancia que revisten las raíces en la fisiología del árbol frutal, se sabe muy poco de ellas en comparación a lo que se conoce de la porción aérea de la planta. El estudio del sistema radical en los frutales en condiciones de campo implica utilizar técnicas metodológicas destructivas que ciertamente condicionan este tipo de investigaciones. Los escasos antecedentes en la materia se limitan a ensayos descriptivos del sistema radical bajo distintos manejos y combinación de portainjertos que se discutirán más adelante.

Las funciones del sistema radical no sólo son el anclaje de la planta y la absorción de agua y nutrientes. En los frutales la actividad radical como órgano almacenador de carbohidratos y nutrientes y la producción de hormonas (citocininas y giberelinas) son funciones a menudo desconocidas, a pesar de su importancia fisiológica. La actividad metabólica de las raíces, depende del suministro de carbohidratos sintetizados en las hojas que sirven de fuente de energía para cumplir sus funciones específicas. La sacarosa y el sorbitol conforman los principales compuestos que migran a las raíces, en donde son transformados en glucosa y almidón.

El sistema radical de los frutales está conformado por raíces de distinta edad, diámetro y grado de suberización. La mayor parte de las raíces son de corta vida, principalmente las de absorción y las laterales, mientras que las raíces de extensión perduran en el tiempo.

Una raíz joven es inicialmente de color blanco y posee pelos absorbentes (Foto 2.1). Dependiendo de la época del año y de factores tales como temperatura y humedad del suelo, los pelos absorbentes viven de una a cuatro semanas. El color de la raíz se va tornando marrón debido al depósito de suberina. El incremento de diámetro se debe a la actividad del cambium. Una vez que la raíz pierde por completo el córtex, el cambium origina corteza hacia fuera y xilema hacia dentro (Figura 2.1).

Cada segmento de la raíz tiene funciones diferentes. La absorción de agua y nutrientes se lleva a cabo en los ápices radicales y pelos absorbentes (Figura 2.1). En frutales se comprobó que la máxima absorción de nutrientes se produce en los primeros cinco milímetros a partir del ápice, esta porción se caracteriza por ser una región con alta actividad metabólica y por consiguiente muy demandante de energía.

A medida que la raíz se suberiza, la absorción de nutrientes disminuye más que la absorción de agua. Sin embargo, no se debe subestimar la contribución de las raíces suberizadas en la nutrición mineral del árbol ya que a pesar de ser menos activas que las raíces blancas, tienen una biomasa mucho mayor que éstas.



**Foto 2.1.** Crecimiento primaveral de raíces en manzano en botón rosado (A), duraznero en plena floración (B), cerezo en yema hinchada (C) y vid en yema hinchada (D). Foto tomada bajo lupa con un alfiler como referencia. Sánchez, inédito.

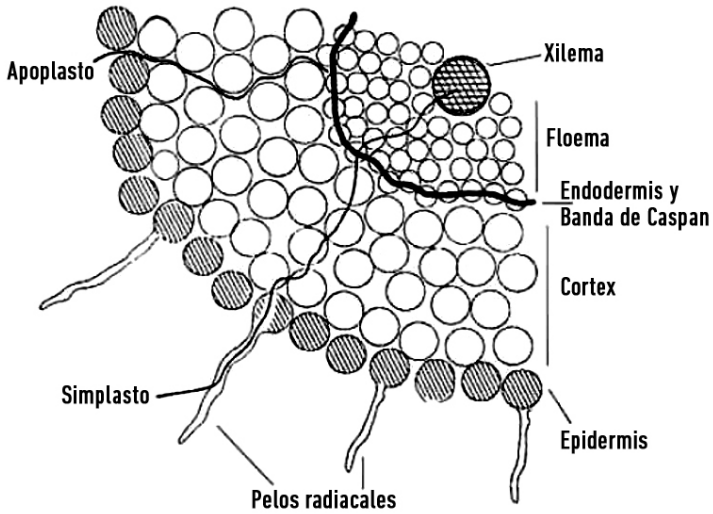


Figura 2.1. Sección radial de una raíz.

En la Figura 2.2 se representa la capacidad de absorción de potasio y de agua en raíces blancas (jóvenes) y leñosas (algo más adultas pero sin llegar a ser estructurales) de cerezo. Se observa que las raíces blancas son más eficientes que las leñosas. Sin embargo, de ninguna manera se puede subestimar a estas últimas ya que la presencia de raíces leñosas en un árbol adulto contribuye significativamente a la absorción total de agua y nutrientes.

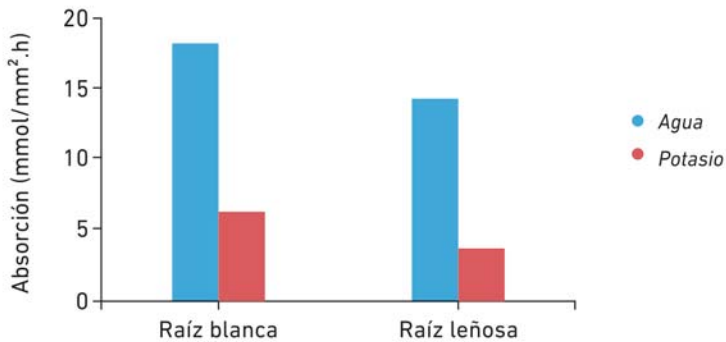


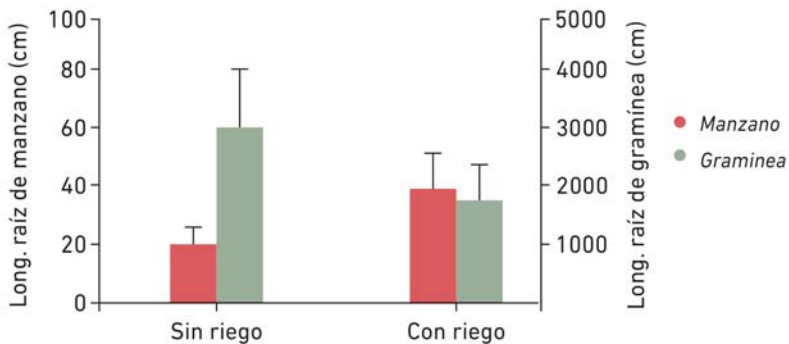
Figura 2.2. Absorción de agua y potasio de raíces de cerezo (Atkinson y Wilson, 1980).

Las raíces absorbentes o activas exploran constantemente el suelo. La región de elongación, empuja al tejido meristemático aún sin diferenciar que está protegido por una capa mucilaginosa que se renueva permanentemente. Si el suelo presenta algún obstáculo de tipo físico, la raíz se curva hacia la porción de suelo más favorable.

La densidad radical de los frutales es muy baja comparada con otros cultivos, especialmente si se trata de especies gramíneas (Figura 2.3). La longitud de raíces por centímetro cuadrado de superficie de suelo es algo menor de 10 para manzanos sobre un portainjerto enanizante (Atkinson y Wilson, 1980). La baja densidad radical puede acarrear consecuencias poco favorables para el cultivo en situaciones de estrés hídrico o estrés nutricional.

A medida que la raíz extrae agua del suelo el gradiente (diferencia) de potencial agua entre la raíz y la matriz del suelo es cada vez mayor. De no existir un activo crecimiento radical, la planta puede sufrir la falta de agua porque la reposición de humedad del suelo no es tan rápida como su extracción. Del mismo modo, el estrés nutricional provocado por la falta de disponibilidad de alguno o varios nutrientes, obligará al frutal a movilizar sus reservas. Si éstas se agotan, la única salida es a través de la fertilización oportuna.

Sin embargo, la naturaleza le ha conferido a los frutales la propiedad de extraer muy eficientemente los nutrientes del suelo y de esta manera el frutal compensa su baja densidad de raíces con una alta eficiencia extractiva (Eissenstat *et al.*, 2001).



**Figura 2.3.** Longitud de raíz de manzano/M26 y una gramínea (*Phleum pratense* L.) durante los meses de verano según disponibilidad de agua (Atkinson, 1983).

## CRECIMIENTO TEMPORAL

El crecimiento de las raíces de los frutales, depende de los carbohidratos que les proporcionan las hojas y esta relación fuente-destino lo regula a lo largo del año.

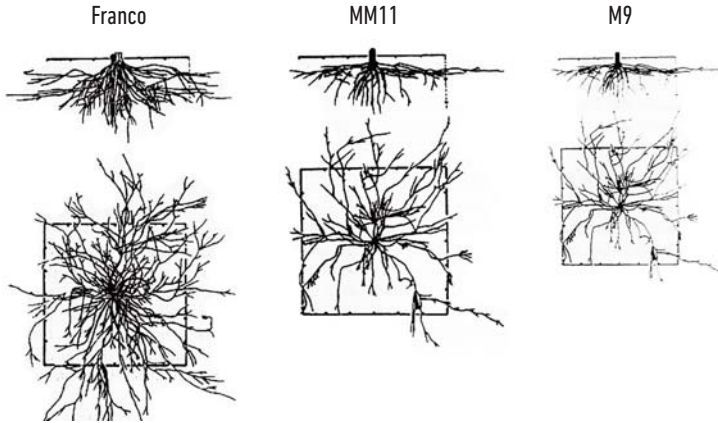
Los libros tradicionales de fruticultura mencionan que hay dos momentos de crecimiento de raíces, el que se produce antes de la brotación y el posterior a la cosecha (Faust, 1989; Ryugo, 1993). Algunos estudios cuestionan esta generalidad, aunque coinciden en que las raíces no crecen ni en el invierno ni cerca de la cosecha, donde los carbohidratos se particionan con preferencia a los frutos (Eissenstat *et al.*, 2006). Dichos autores, tomaron experiencias en distintas regiones de Estados Unidos y Canadá y concluyeron que el crecimiento de la raíz es variable en cada año debido a distintos factores (carga de fruta, poda, régimen hídrico, temperaturas).

En nuevas plantaciones, es primordial que las plantas de vivero presenten un buen sistema radical y que el mismo sea preservado en la tarea de la plantación. Su desarrollo posterior depende de un adecuado balance en la relación fuente-destino entre las partes aérea y subterránea de la planta. En el caso en que la planta no cuente con las raíces necesarias para sostener el crecimiento esperado, es posible observar una interrupción en el crecimiento. Es en esta situación, donde la puesta en marcha del crecimiento se realiza empleando fertilizantes foliares ya que las raíces tienen limitaciones de reservas para absorber nutrientes y por supuesto crecer. Otra situación, puede darse cuando una planta ya desarrollada queda con una escasa carga de fruta y manifiesta un vigoroso crecimiento vegetativo característico. En este caso, aunque no se vea, las raíces también están creciendo a la par.

## DISTRIBUCIÓN EN EL PERFIL DEL SUELO

La distribución de las raíces de un árbol frutal es función de varios factores, de los cuales el tipo de portainjerto es el más importante cuando no existen restricciones por parte del suelo (Figura 2.4). En general, un portainjerto vigoroso se corresponde con una masa de raíz más grande. La exploración de un volumen de suelo mayor por parte de la planta tiene ventajas y desventajas. Por un lado, la disponibilidad de agua es mayor, pero por otro, puede ocurrir que la mayor parte del sistema radical se encuentre a una profundidad donde predominan los procesos de fijación de nutrientes (Peinemann *et al.*, 1982). En cambio, la distribución de raíces en superficie favorece la absorción de nutrientes disponibles pero, al explorar un volumen exiguo de suelo, la planta es más susceptible a situaciones de déficit hídrico.

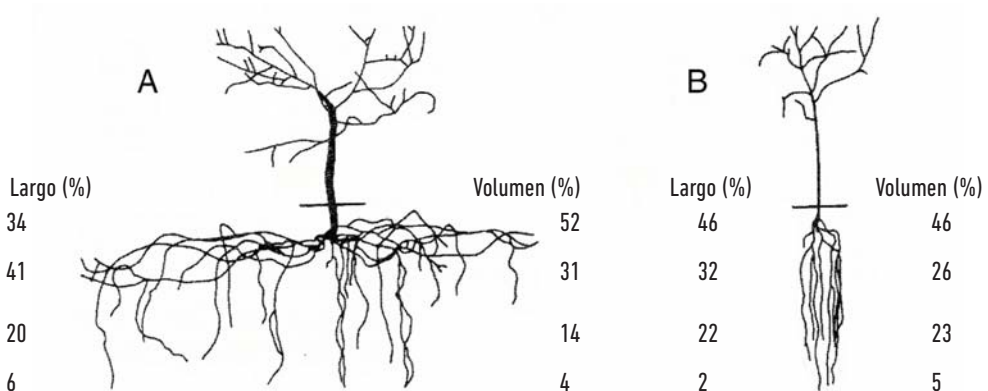
Las características de suelo, principalmente la textura y la presencia de capas compactadas o cementadas, condicionan la profundización de las raíces. Si los horizontes o capas de suelo presentan cambios bruscos de textura, principalmente de una textura tipo franca a una arenosa, las raíces tienden a permanecer en el primer horizonte. Un impedimento químico, como una capa cementada con carbonato de calcio, forma una barrera que dificulta el crecimiento en profundidad del sistema radical.



**Figura 2.4.** Vista de perfil y superior de la distribución de las raíces de tres portainjertos de manzano.

En áreas de riego, es frecuente la presencia de una capa freática alta que, aunque sea de naturaleza temporal, crea condiciones anaeróbicas que limita seriamente el desarrollo de raíces permanentes. Es necesario hacer esta salvedad, porque si la capa freática es temporaria (30-60 días), las raíces tienen oportunidad de desarrollarse pero mueren cuando permanecen mucho tiempo en condiciones de anaerobiosis. En caso que el agua de la capa freática sea de naturaleza salina las raíces no se desarrollan en condiciones que no aseguren su supervivencia. En el Alto Valle de Río Negro son habituales conductividades eléctricas de más de 2 mS/cm en agua proveniente de la napa freática. Bajo estas condiciones, no se observa abundancia de raíces en la zona de fluctuación de la freática.

La densidad de plantación es otro factor condicionante de la distribución de raíces en el perfil del suelo. Las plantaciones modernas de alta densidad, fuerzan a la planta a profundizar sus raíces, de ser posible por las condiciones físicas del suelo, a medida que la competencia entre plantas es mayor (Figura 2.5)



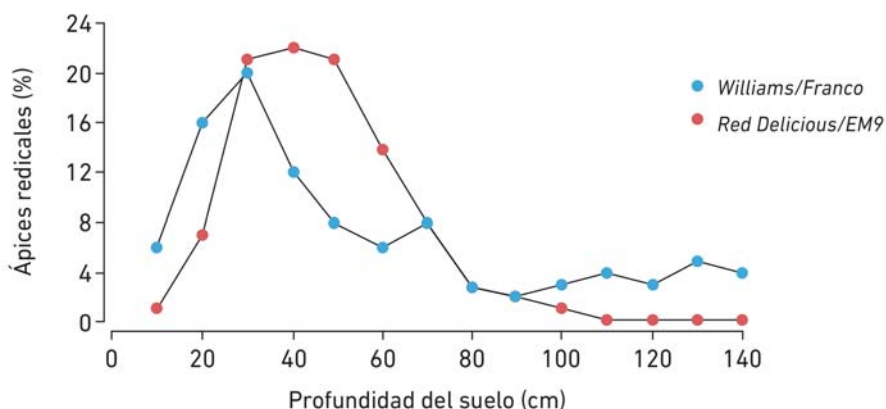
**Figura 2.5.** Distribución de las raíces de manzanos Golden Delicious/M9 plantado a 2,4 x 2,4 m (A) y 0,3 x 0,3 m (B). (Atkinson y Wilson, 1980).

En el Alto Valle de Río Negro, Nolting (1976) estudió la influencia del suelo en la distribución de ápices radicales en montes frutales adultos de manzano y peral con conducción libre y en espaldera. En manzano, trabajó con plantas de la variedad Red Delicious injertadas sobre los portainjertos Northern Spy, franco, EM 4 y EM 9. En perales, el estudio se hizo en Williams con portainjerto franco y membrillero Angers A. Los resultados obtenidos reflejaron que la distribución radical sigue un patrón de comportamiento semejante en todas las combinaciones cultivar/portainjerto estudiadas. En los primeros centímetros de suelo, se observa una baja densidad de ápices producto del laboreo de suelo primaveral con el fin de mantener el suelo sin vegetación y húmedo, como método de lucha pasiva contra las heladas tardías. A partir de allí, la densidad de ápices se incrementa y alcanza un máximo entre los 30 y 50 centímetros de profundidad. Cuando las condiciones se tornan adversas, ya sea por falta de aireación o presencia del manto freático, las raíces se desarrollan mucho menos.

A manera de síntesis, en la Figura 2.6 se grafican un par de casos que sirven para extraer algunas conclusiones prácticas de amplia representatividad, para diversas zonas frutícolas en donde se refleja el comportamiento del árbol en respuesta a su hábitat de crecimiento.

En el caso del manzano Red Delicious sobre el portainjerto enanizante EM9, se observa que existe una ausencia de ápices radicales en los primeros 20 centímetros de profundidad. La naturaleza homogénea de la textura del suelo hasta prácticamente el metro de profundidad crea un ambiente propicio para el crecimiento de raíces. Sin embargo, casi no hay desarrollo de raíces en profundidad debido a la naturaleza del portainjerto que tiende a extenderse más en superficie.

Para el caso del peral Williams sobre el pie franco, el desarrollo de raíces en la superficie es algo mayor debido a que las muestras fueron extraídas en una zona de suelo que no se trabaja. El cambio textural hacia una fracción mucho más gruesa a los 80 cm. se corresponde con un desarrollo ínfimo de ápices. El sistema radical profundiza hasta los 140 centímetros, aunque a esta profundidad resulta limitante la provisión de oxígeno.



**Figura 2.6.** Distribución de ápices radicales de manzano Red Delicious y peral Williams en el Alto Valle de Río Negro. (Nolting, 1976).

Estos como otros estudios, enfatizan la necesidad de contar con suelos que presenten buena porosidad que permita el desarrollo de raíces finas. Sin duda el concepto de suelo “suelto y profundo” es aplicable para todo frutal, el problema es que las condiciones ideales raramente se dan y tanto el profesional como el productor deben enfrentarse a los problemas de la realidad.

En la práctica no siempre un suelo con limitantes ofrece problemas, a veces también aporta soluciones. Esta aparente contradicción se puede clarificar con el siguiente ejemplo. En caso de no contar con portainjertos que controlen el vigor, como puede ser el caso del peral, un suelo muy fértil y profundo obliga a distanciar las plantas y a manejar el vigor del árbol mediante la poda, el riego y/o la aplicación de reguladores de crecimiento. Distinto es el caso en un suelo con napa freática cercana a la superficie o compactaciones en profundidad. En estos casos los impedimentos mencionados colaboran para controlar el crecimiento de la planta.

## MANEJO DEL SUELO Y DEL AGUA

El conocimiento de la distribución y crecimiento de las raíces de los frutales, puede sufrir alteraciones producto del manejo del suelo y del agua. El conocimiento de la distribución y crecimiento de las raíces de los frutales es fundamental para determinar un manejo eficiente de la fertilización y la plantación en general.

Una metodología sencilla para monitorear la distribución radical en los frutales consiste en el siguiente procedimiento. Primero, se fabrica un marco de hierro o madera de un metro de largo por un metro de ancho, dividido en celdas de 10 x 10 centímetros como se muestra en la Foto 2.2. Este marco se apoya sobre una calicata que puede ser ubicada a 80 centímetros del tronco hacia el interfilar o entre dos plantas de la fila. Seguidamente, en cada celda se cuenta el número de raíces, las cuales pueden clasificarse en finas, medianas y grandes. También es posible calcular el porcentaje de ocupación de las raíces a distintas profundidades del suelo en base a la presencia o ausencia en cada celda.

En la Estación Experimental de East Malling, los trabajos de Atkinson en la década de los setenta, aportaron una cuota importante de conocimiento acerca de la dinámica radical de los manzanos, que se hicieron extensivos a otras especies. Los estudios a campo se llevaron a cabo hace años y los resultados dieron cuenta del concepto general que actualmente se tiene acerca de la influencia de ciertas labores culturales como el laboreo superficial de suelo (rastreada), la aplicación de herbicidas en la línea de plantación o el agregado de algún *mulch* orgánico con el fin de disminuir la competencia de especies herbáceas por agua y nutrientes.

El empleo de herbicidas para disminuir la competencia de los frutales con las malezas o pasturas o el uso de la rastra causan una modificación del patrón de distribución y crecimiento radical.

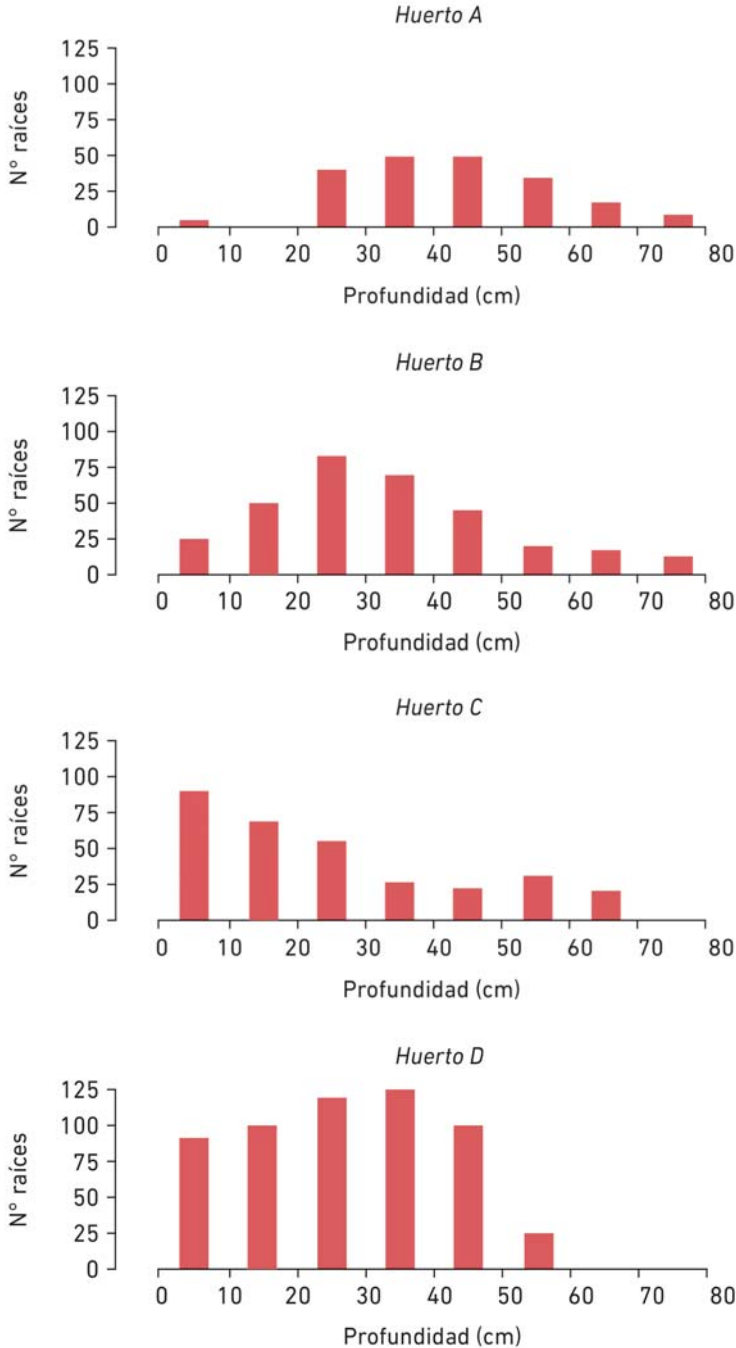




**Foto 2.2.** Metodología de evaluación de la distribución de raíces en los árboles, por medio de una gradilla con cuadrícula cada 10 cm, apoyada sobre un borde de un calicata realizada a 80 cm del tronco de un cerezo. Nótese la distribución superficial del sistema radical.

La mayor densidad de raíces se concentra en cercanías del tronco, aún en plantas adultas. Atkinson (1977) estudió la distribución radical en manzanos Cox's Orange Pippin sobre portainjerto M26 en un monte con manejo de herbicidas en la línea de plantación y con pastura en el espacio entre filas. El autor, observó que las raíces superficiales abundaban en la zona libre de vegetación y que se reducía a un 30 % en el interfilas. En cambio, a partir de los 20 centímetros de profundidad del suelo no se apreciaban diferencias sustanciales en la distribución radical en las dos zonas. En la práctica esto sucede cuando no existe limitante de humedad en el interfilas, de lo contrario la distribución radical en profundidad será también superior en la franja de herbicidas.

Similar comportamiento fue observado en manzano en un trabajo realizado por Aruani y Sánchez (2004), donde se evaluó la distribución de las raíces en manzano en cuatro tipos de montes frutales (Figura 2.8).



**Figura 2.8.** Distribución de las raíces de manzana a un metro de distancia del tronco en cuatro huertos con diferentes manejos del suelo. A) Monte libre rastreado anualmente previo a brotación. B) Monte en espaldera rastreado anualmente previo a brotación. C) Monte en espaldera con aplicación de herbicida. D) Monte libre en sector del suelo sin rastrear (Aruani y Sánchez, 2004).

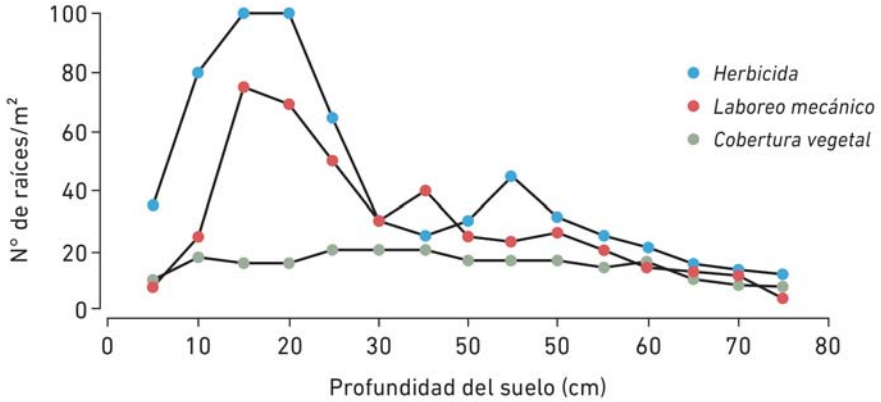
En la figura 2.8, se observa la cantidad y distribución de raíces en montes con diferentes sistemas de conducción trabajados con rastra (huerto A y B). Las raíces están prácticamente ausentes en los primeros 10 centímetros de suelo y son escasas en los siguientes 10 centímetros de profundidad. La zona de mayor densidad radical, se halla comprendida entre los 25 y 40 centímetros de profundidad. Generalmente, en los suelos se produce una estratificación de nutrientes, especialmente aquellos que se comportan como inmóviles, y a partir de los 30 centímetros frecuentemente se observa una marcada disminución de su concentración (Aruani y Sánchez, 2003). Por este motivo es fundamental preservar las raíces superficiales. La influencia de la napa freática y capas de suelo más o menos compactadas y con elevado pH, condiciona el desarrollo radical por debajo de los 50 centímetros de profundidad, aunque en algunos casos se observa la presencia de raíces hasta el metro de profundidad. Este comportamiento se presenta en la mayoría de los huertos frutales.

En el huerto con pastura perenne en el interfilas y aplicación de herbicida (huerto C), se observa que la mayor densidad radical se encuentra en la sección del perfil más próxima a la superficie del suelo. En tanto que en el huerto D, con manzanos con conducción libre, las raíces se distribuyen más uniformemente en toda la profundidad de suelo en los sectores sin rastreo debido, en parte, al portainjerto franco.

Si se comparan estas últimas parcelas con las que fueron rastreadas anualmente en primavera, se observa un mayor desarrollo de raíces superficiales. Aún cuando estas parcelas presentan diferentes sistemas de riego, uno tradicional por manto (huerto D) y el otro de mayor tecnología, con riego por goteo (huerto C), la distribución radical fue similar, con mayor densidad de raíces en la zona superficial. Esto demuestra que un sistema de manejo que evita la labranza continua evita el daño de las raíces superficiales, incrementa su número y logra una distribución más homogénea en el perfil del suelo. La disponibilidad mineral es más abundante en la capa u horizonte superficial de suelo (Aruani y Sánchez, 2003) que en profundidad. Por lo tanto, el manejo del suelo estaría influyendo directamente, no sólo en la capacidad de las raíces para explorar el volumen superficial de suelo, sino también en la eficiencia de absorción mineral (Atkinson y Wilson, 1980).

Más recientemente, Gonzalez *et al.*, (2012) estudiaron el desarrollo de las raíces de duraznero luego de 10 años con distintos manejos de suelo (Figura 2.7). Las diferencias más notables en el crecimiento de las raíces finas según el manejo de suelo se producen en los estratos superficiales del suelo (los primeros 25 centímetros), no así en profundidad. La rastra limita fuertemente el desarrollo radical en su zona de acción (primeros 5 centímetros de suelo). Al igual que en el trabajo de Atkinson (1977), también se ha observado un mayor número de raíces superficiales con la aplicación de herbicidas respecto de suelos rastreados o con coberturas vegetales.

El uso de herbicidas en la línea de plantación es una práctica bastante generalizada y que se justifica en la mayoría de los casos, principalmente en los primeros años del frutal, cuando es importante evitar toda competencia con la joven planta. Precisamente, es en la zona libre de vegetación, donde existe la máxima densidad radical del frutal. Tener el suelo descubierto acarrea una dificultad, y es el efecto que provoca en el desarrollo de las raíces superficiales.



**Figura 2.7.** Efecto de distintos tipo de manejo de suelo sobre la cantidad de raíces de duraznero a distintas profundidades del suelo (Gonzalez *et al.*, 2012).

Si las temperaturas del suelo son muy elevadas, las raíces se sitúan debajo de los 5 centímetros, de lo contrario, se distribuyen más superficialmente. En suelos sin cobertura en plantaciones jóvenes, de menos de cuatro años, la superficie expuesta al sol alcanza temperaturas muy por encima de los 30 °C, temperatura que frena drásticamente el crecimiento de las raíces. En situaciones como la mencionada, la colocación de un mulch no sólo disminuye la temperatura del suelo sino que contribuye a mantener la humedad en superficie.

En un estudio reciente en kiwi (*Actinidia deliciosa* “Hayward”), realizado en siete establecimientos localizados en la provincia de Buenos Aires, David *et al.* (en prensa) estudiaron la distribución de raíces siguiendo la metodología descrita previamente. La distribución de raíces de kiwi se concentró en los primeros 40 centímetros del suelo, presentando el cultivo un sistema radical superficial (Cuadro 2.1). Los resultados observados se corresponden con suelos francos en los primeros 40 centímetros del suelo y franco-arcillosos a arcillosos por debajo (horizonte Bt). Este resultado permitió ajustar la recomendación de riego para estas plantaciones, con riegos más frecuentes y con una lámina que no sobrepase la profundidad ocupada por las raíces.

En la foto 2.3 se aprecia el crecimiento superficial de raíces de kiwi en un suelo con escasa profundidad efectiva debido a la presencia de una capa de carbonato de calcio cementado, comúnmente llamada tosca.

Los estudios relacionados con el crecimiento y distribución de la raíz de los frutales son necesarios para ajustar correctamente el manejo del riego y la nutrición. Cada monte frutal, debería tener una descripción de la distribución de raíces de los árboles para estimar adecuadamente las necesidades de riego (frecuencia y lámina a aplicar) y oferta de nutrientes del perfil explorado del suelo. Estos ajustes propuestos, contribuyen a la mejora del manejo sostenible de los recursos que tanto se enfatizan en la actualidad.

**Cuadro 2.1.** Número total de raíces de kiwi para tres profundidades del suelo, en siete sitios ubicados en Sierra de los Padres, Mar del Plata, Miramar y Mar del Sur. David *et al.*, en prensa.

Profundidad (cm)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Media	Desvío estándar
0-20	49	128	78	167	28	42	55	<b>78,1</b>	51,0
20-40	26	36	73	81	29	57	12	<b>44,9</b>	25,9
40-60	10	12	32	29	22	28	2	<b>19,2</b>	11,4



**Foto 2.3.** Raíces superficiales de kiwi en el sudeste bonaerense.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARUANI, M.C. & SÁNCHEZ, E.E. 2003. Fracciones de micronutrientes en suelos del Alto Valle de Río Negro, Argentina. *Ciencia del suelo* 21 (2): 78-81.
- ARUANI, M.C. & SÁNCHEZ, E.E. 2004. Frutales: Manejo del suelo y distribución radical. *Fertilizar* 34, 14-17.
- ATKINSON, D. 1977. Some observations on the root growth of young apple trees and their uptake of nutrients when grown in herbicide strips in grassed orchards. *Plant and Soil* 49: 459-471.
- ATKINSON, D. & S.A. WILSON. 1980. The growth and distribution of fruit tree roots: some consequences for nutrient uptake: 137-150. En *Mineral Nutrition of Fruit Trees*.
- ATKINSON, D. 1983. The growth, activity and distribution of the fruit tree root system. *Plant and Soil*, 71: 1-3, 23-35.
- DAVID, M.A.; LIGIER, H.D. & SÁNCHEZ, E.E. 2020. Distribución radical en plantaciones de kiwi en el sudeste bonaerense y su implicancia en el manejo racional del riego. *RIA* (en prensa).
- EISSENSTAT, D.M.; WELLS, C.E.; & WANG, L. 2001. Root efficiency and mineral nutrition in apple. *Acta Hort.* 564: 165-183.
- EISSENSTAT, D.M.; BAUERLE, T.L.; COMAS, L.H.; LAKSO, A.N.; NEILSEN, D.; NEILSEN, G.H. & SMART, D.R. (2006). Seasonal patterns of root growth in relation to shoot phenology in grape and apple. *Acta Hort.* 721, 21-26.
- FAUST, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. John Wiley & Sons, Inc.
- GONZALEZ, J.; FERNÁNDEZ, J.R.; SANTANATOGLIA, O.J. & DEL PARDO, C. 2012. Desarrollo radical en plantas de duraznero sometidas a diferentes manejos del suelo. *RIA* 38 (3): 276-281.
- NOLTING, J.T. 1976. Estudio sobre la distribución radical del manzano y peral en el Alto Valle de Río Negro. *Investigación Agropecuaria*, N° 2, INTA Alto Valle de Río Negro: 49 páginas.
- PEINEMANN, N.; C.Y. ANDREOLI & E.E. SÁNCHEZ. 1982. Fracciones y Dinámica del fósforo y potasio en suelos del Alto Valle del Río Negro. *Ciencia del Suelo* 5(1):9-18.
- RYUGO, K. 1993. *Fruticultura: ciencia y arte* (No. 634.04 R997f). México, MX: AGT Ed.

*capítulo*

# 3

## ABSORCIÓN DE NUTRIENTES

El conocimiento de los aspectos básicos que rigen la absorción de los nutrientes, es fundamental para manejar la nutrición mineral de cualquier vegetal sean éstos herbáceos o arbóreos. En fruticultura no se pueden elaborar correctamente programas de fertilización si no se tiene una visión global del suelo y sus propiedades y de la planta como entidad demandante de materia prima para su funcionalidad. Se puede afirmar, que el mecanismo de absorción de nutrientes integra las propiedades físicas y químicas del suelo con las necesidades del cultivo siendo un eslabón fundamental en la relación suelo-planta.

La absorción de nutrientes es directa o indirectamente un proceso activo es decir que consume energía y que depende de tres factores a saber:

- a) *Demanda de la planta.*
- b) *Disponibilidad de nutrientes en la superficie radical.*
- c) *Actividad metabólica de la raíz.*

Los tres aspectos deben ser considerados con igual peso. Como ocurre en una simple célula, la planta es una maquinaria perfecta en la que se suceden al mismo tiempo diversos procesos metabólicos en los que interactúan -entre otros- carbohidratos, proteínas, minerales, agua, oxígeno y hormonas. Estos procesos, si bien siguen una secuencia natural, son a menudo perturbados por labores culturales en el suelo y en la planta (riego, poda, raleo, reguladores de crecimiento, etc.). Es así que la planta ejerce una demanda de minerales que deben estar presentes en el suelo en el momento que se los necesite y en la cantidad requerida.

La raíz debe mantener intacta su capacidad operativa. Cualquier evento que altere la fisiología de la raíz, se reflejará en su capacidad para absorber agua y nutrientes. Un estrés hídrico, la falta de oxígeno en el suelo producto de una compactación, la toxicidad por sales o el ataque de nemátodos u hongos son factores que repercuten negativamente en la absorción mineral.

La raíz obtiene de los carbohidratos que le aporta la parte aérea, la energía necesaria para absorber nutrientes. Si por alguna razón la raíz no dispone de suficientes reservas o energía disponible en un momento en particular, el árbol manifestará síntomas de deficiencia en el corto o mediano plazo. Por ejemplo, podredumbres a nivel del cuello de la planta o ataques severos de pulgón lanígero (*Eriosoma lanigerum*) pueden interrumpir el transporte floemático de azúcares a la raíz provocando un debilitamiento del sistema radical con el correr del tiempo.

## ABSORCIÓN DE IONES

La absorción de iones se produce en un espacio muy especial llamado rizósfera, en el cual interactúan la planta, el suelo y los microorganismos. Las raíces liberan exudados, como  $H^+$  y ácidos orgánicos, que modifican las características del suelo y favorecen la movilización de nutrientes.



La absorción de iones es -como se mencionó- un proceso activo, con gasto de energía metabólica. Se dice que el proceso es activo porque la raíz debe extraer nutrientes que se encuentran muy diluidos en la solución del suelo y localizarlos en las células en donde se encuentran en una concentración mucho mayor. La absorción se realiza en contra de un gradiente de concentración, o dicho de otra manera, de un medio más diluido a uno más concentrado, por lo cual es necesario realizar un trabajo que requiere energía metabólica.

Se dice también que el proceso es selectivo porque la raíz extrae del medio únicamente lo que necesita. Obviamente, en condiciones de alta disponibilidad existe una absorción no selectiva producto de un pasaje por simple difusión. Para ejemplificar, en un suelo sódico se produce una absorción elevada a favor de un gradiente de concentración que puede causar toxicidad si es que la planta no pone en marcha un mecanismo de detoxificación mediante la exclusión al exterior del ion o el almacenamiento del mismo en las vacuolas.

Para interpretar mejor los mecanismos de absorción es necesario en primer lugar tener un conocimiento básico de lo que es la membrana celular, ya que ésta representa una barrera para los compuestos químicos hacia el interior y exterior de la célula.

La membrana está constituida por una doble capa de proteínas, de naturaleza hidrofílica, que encierran a una fracción lipídica netamente hidrofóbica. La naturaleza química de la membrana obliga a que el transporte iónico a través de ella sólo pueda realizarse por mecanismos especiales, en los que intervienen “transportadores” específicos para cada especie química.

El transportador es una molécula orgánica, probablemente lipídica cuya función es unirse al ion y conducirlo hacia el interior de la célula. Una vez allí, lo libera y retorna al lado externo de la membrana para iniciar nuevamente el proceso. La unión transportador-ion es altamente específica como complejo es el mecanismo a través de la membrana.

Durante el proceso de absorción, iones de la misma carga y similar radio hidratado compiten por los mismos transportadores a nivel de la membrana plasmática. Afortunadamente la presencia de estos iones en el suelo no es tan abundante y en la práctica no nos interesa tanto la competencia del rubidio con el potasio (que tienen igual transportador) o la del calcio con el estroncio por citar otro ejemplo, porque tanto el rubidio como el estroncio no abundan en el suelo.

En este caso, lo que interesa mucho más es la competencia o antagonismo de los cationes ( $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ) entre sí. Al ser la célula eléctricamente neutra por estar balanceadas las cargas negativas con las positivas, cualquier exceso de absorción de  $K^+$  -por ejemplo- deja disponibles menos cargas negativas para ser neutralizadas con otros cationes. En consecuencia la absorción de  $Ca^{+2}$  o  $Mg^{+2}$  se ve restringida y puede provocar deficiencias de estos elementos.

En los manzanos cvs Gala o Fuji, un exceso de la nutrición con  $K^+$  o  $Ca^{+2}$  causan deficiencias de  $Mg^{+2}$  que pueden llegar a defoliar las hojas basales de las ramas del año. De igual manera, en los suelos salino-sódicos, se debe tener sumo cuidado en la aplicación de yeso como enmienda ya que el exceso de calcio suele causar deficiencias de los otros cationes.

El ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) una vez absorbido se reduce a ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). El cambio de carga eléctrica obliga a la célula a reaccionar y sintetizar un ácido orgánico. Si la raíz absorbe al ion  $\text{NH}_4^+$  directamente, éste compite con el resto de los cationes. De allí que por ejemplo, en la nutrición cálcica, es importante emplear la fuente nitrato más que al amonio. Mientras el primero favorece la absorción de cationes, el segundo compite con ellos.

El antagonismo entre aniones es mucho menos marcado. El ion fosfato ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) por ejemplo, se encuentra en cantidades muy pequeñas en el suelo, por lo tanto no puede competir con el  $\text{NO}_3^-$ . Sin embargo, la competencia entre aniones puede ser importante en los suelos salinos en donde abunda el cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y el sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

## LA SOLUCIÓN DEL SUELO

Los nutrientes disponibles para las plantas se encuentran en solución y en equilibrio con las formas adsorbidas en la matriz del suelo. Las superficies de las partículas del suelo presentan cargas negativas y atraen a los cationes. Las formas iónicas de los nutrientes esenciales que son reconocidos por las plantas se detallan en el Cuadro 3.1.

La concentración de los nutrientes en la solución del suelo varía según el tipo de suelo y la fertilización realizada. Sin embargo, en condiciones normales, la concentración de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{NO}_3^-$  es alta; el  $\text{K}^+$  y el  $\text{Mg}^{+2}$  presentan concentraciones medias y el anión fosfato, baja. Los macroelementos, en general, se encuentran en la solución del suelo en concentraciones inferiores a una parte por millón.

**Cuadro 3.1.** Formas iónicas absorbidas por las plantas.

Nutriente	Cationes	Aniones
Nitrógeno	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$
Fósforo		$\text{HPO}_4^{2-}$ , $\text{H}_2\text{PO}_4^-$
Potasio	$\text{K}^+$	
Calcio	$\text{Ca}^{2+}$	
Magnesio	$\text{Mg}^{2+}$	
Azufre		$\text{SO}_4^{2-}$
Hierro	$\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$	
Manganeso	$\text{Mn}^{2+}$	
Boro		$\text{H}_3\text{BO}_3$ , $\text{B}(\text{OH})_4^-$
Cobre	$\text{Cu}^{2+}$	
Cinc	$\text{Zn}^{2+}$	
Molibdeno		$\text{MoO}_4^{2-}$
Cloro		$\text{Cl}^-$

## TRANSPORTE DE NUTRIENTES HACIA LA RAÍZ

La raíz de cualquier vegetal, se desarrolla al inicio de su vida por las sustancias de reserva de la semilla o de la estaca leñosa y a medida que crece comienza un proceso de diferenciación de tejidos hasta que se encuentra fisiológicamente en condiciones para absorber nutrientes.

Los mecanismos por los cuales los nutrientes toman contacto con la raíz son tres:

**a) Intercepción radical:** A medida que la raíz crece intercepta nutrientes. Se ha visto que en este proceso se produce un intercambio de cationes entre el  $H^+$  que secreta la raíz, producto de su actividad metabólica, con los cationes del suelo. La intercepción radical no es un mecanismo importante porque los nutrientes en íntimo contacto con la superficie de raíces absorbentes, no explicaría más que un 5 % de la absorción total a lo largo del ciclo de crecimiento de los frutales.

**b) Flujo masal:** La raíz absorbe agua que lleva nutrientes en solución, principalmente aquellos que se encuentran en una alta concentración en la solución del suelo, tal el caso del Ca. Por lo tanto, la importancia de este mecanismo depende fundamentalmente de la tasa de transpiración del árbol y de la concentración de nutrientes en la solución del suelo.

El flujo masal es capaz de suministrar todo el Ca, Mg, y S que las plantas necesitan y parte de la demanda de nitrógeno. Los factores climáticos que incrementan la transpiración, como la temperatura y la radiación solar, aumentan la absorción de agua. Si la humedad del suelo no es limitante, el agua se absorbe más rápido que los nutrientes disueltos en ella. En consecuencia se produce una acumulación de sales en la superficie de la raíz.

**c) Difusión:** Cuando la intercepción radical y el flujo masal no abastecen a la raíz con un nutriente en particular, el mecanismo de difusión es responsable del suministro.

A medida que la raíz penetra en el suelo incrementa la densidad de éste, por lo que la concentración de nutrientes por unidad de volumen de suelo es mayor. Por lo tanto el gradiente de concentración para nutrientes difusibles es también mayor. Cuando la raíz absorbe un ion, ejemplo  $H_2PO_4^-$ , se establece un gradiente o diferencia de concentración entre la superficie de la raíz y la matriz del suelo que origina un movimiento del fosfato nuevamente hacia la raíz. Este gradiente puede extenderse a menos de un milímetro para los nutrientes poco móviles, hasta varios milímetros para los nutrientes muy móviles como el nitrato.

La distancia a la que se mueve un ion por difusión no va más allá de los 2 mm de espesor de suelo y la intensidad del proceso en sí, depende de las propiedades físicas y químicas de éste, así como el grado de humedad, densidad, capacidad buffer y la concentración del nutriente.

El proceso de difusión es favorecido cuando el nivel de humedad del suelo es óptimo. En estas condiciones no predominan espacios de aire entre las partículas del suelo, lo que haría más tortuoso el camino hacia la raíz.

La densidad del suelo favorece la difusión pero, como es de imaginar, llega a un punto en el cual si la compactación es muy grande las partículas sólidas se acercan demasiado y dificultan el camino del nutriente.

La capacidad buffer del suelo no es más que la relación entre la concentración del ión en solución y en la matriz sólida del suelo. Para elementos como el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , que se encuentra muy adsorbido, el valor es tan bajo como 0,001; lo que indica que el nutriente se encuentra en muy baja concentración en la solución del suelo. En cambio para el  $\text{Cl}^-$  este valor puede llegar a ser 1, es decir que existe en igual concentración tanto en la solución del suelo como en la matriz del mismo.

Se considera que la planta se nutre en su totalidad de P y K y parcialmente de N mediante el proceso de difusión. También es razonable pensar que la difusión suministra los microelementos Fe, Mn, Cu y Zn. El B puede moverse por flujo masal, principalmente en suelos con elevado contenido de boratos como son algunos suelos de zonas áridas.

## ABSORCIÓN POR LA RAÍZ

Una vez que alcanzan la raíz, los iones pueden seguir diversos caminos (Ver Capítulo 2, Figura 2.1).

Los nutrientes pueden viajar por el apoplasto (o espacio libre), que es la conjunción de los espacios intercelulares y las paredes celulares hasta la endodermis, o penetrar a través de la membrana celular y moverse por el simplasto que es el continuo citoplasmático de la raíz. En la endodermis los nutrientes deben atravesar la banda de Caspary, que impide la entrada de iones en forma pasiva hacia el espacio interno de la raíz.

Cada vez que un nutriente atraviesa una membrana, lo hace mediante un proceso activo con gasto de energía metabólica. En la endodermis e independientemente de si el ión llega hasta ese punto por vía apoplasto o simplasto, debe atravesar una membrana semipermeable. Una vez ubicado en el espacio interno de la raíz debe alcanzar los vasos del xilema, probablemente mediante otro proceso que demanda energía, para luego ser transportado pasivamente hacia los polos de atracción de la parte aérea.

Para que el proceso de absorción de nutrientes sea efectivo, es importante que la membrana plasmática mantenga su integridad y la raíz su funcionalidad. En otras palabras, significa que el carácter de diferencialmente permeable puede ser alterado y en consecuencia el paso de nutrientes a ambos lados de la membrana esté mucho menos controlado. Al respecto es muy importante el rol del Ca como agente estabilizador. En frutales en general el Ca es un elemento que ayuda a minimizar efectos de estrés provocados por altas o bajas temperaturas como así también por exceso o falta de agua.

Hasta ahora hemos enfocado el tema de la absorción de nutrientes en condiciones de campo, es decir en un medio de baja disponibilidad de nutrientes en el cual la presencia iónica en la superficie radical es casi siempre limitante.

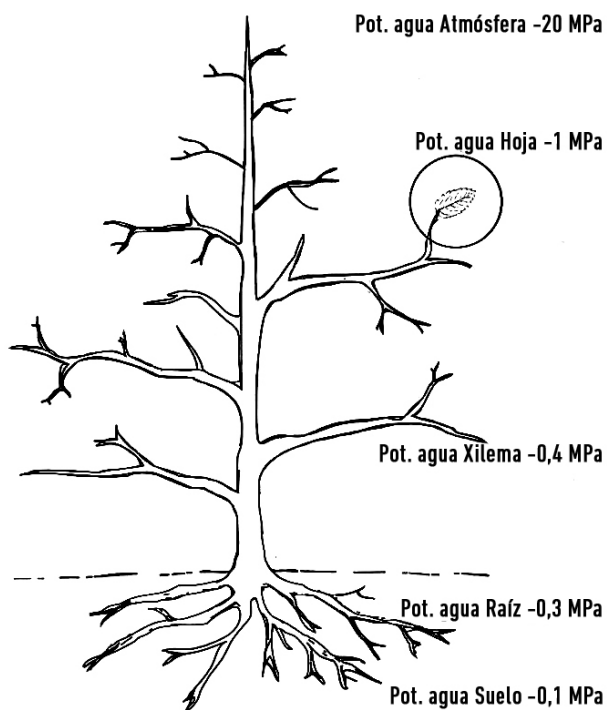
Como es natural a través de la fertilización o debido a concentraciones salinas naturales en el suelo, el mecanismo de absorción se modifica, a veces localmente. En efecto, la especificidad de los transportadores no es tal a concentraciones altas de nutrientes y existe un transporte pasivo por difusión.

En un sistema real, las raíces de un frutal se encuentran en distintos sectores de suelo, algunos con suficiente oxígeno, mientras que otros pueden volverse temporariamente anaeróbicos. Igualmente, la disponibilidad de agua no es uniforme en el perfil del suelo, como tampoco lo es el pH. En definitiva, la regulación de cada sitio de absorción es único y solamente un ser tan complejo como el vegetal puede administrar su propio metabolismo en función de sus necesidades.

No quedan dudas que cuanto más ayudemos a la raíz a cumplir su rol, mejor será la nutrición mineral del monte frutal. En este sentido es esencial un entendimiento global del suelo como sistema proveedor de agua y nutrientes.

## TRANSPORTE POR EL XILEMA

El movimiento ascendente del agua y nutrientes (minerales y compuestos orgánicos de bajo peso molecular), sumado a las hormonas producidas en la raíz es regulado por el flujo de transpiración. El proceso es muy simple: la pérdida de agua por los estomas crea un potencial agua que se transmite hacia las ramas, tronco, raíces y en definitiva al suelo. Para ejemplificar se grafica en la Figura 3.1 los potenciales agua en el sistema.



**Figura 3.1.** Esquematación de los potenciales agua en el sistema Suelo-Planta-Atmósfera.

Se visualiza que desde el suelo a las hojas hay un gradiente de potencial agua. Los valores negativos de potencial agua significan que el sistema está bajo una gran tensión y que las moléculas de agua se encuentran muy cohesionadas entre sí. Por definición, el valor máximo de potencial agua es de 1 y a medida que el número que sigue al signo negativo es más grande, la disponibilidad de agua es menor.

El movimiento de solutos por el xilema es predominantemente por flujo masal a través de vasos leñosos conformados por células muertas y fibrosas. A pesar de ello, ocurre un intercambio de cationes entre la superficie de los vasos que presentan cargas negativas. De acuerdo a la composición mineral de la savia que asciende por el xilema se intercambian iones, lo que hace variar la composición química de la solución iónica que se mueve hacia las hojas.

Aquellos elementos que presentan más de una carga positiva, tal el caso del Ca, se mueven más lentamente, pero es de imaginar que los sitios de intercambio no afectan demasiado el destino final de los nutrientes hacia sus sitios de destino.

Desde el xilema, los minerales deben ser transportados nuevamente a las células de las hojas o frutos previo paso activo a través de otra membrana.

#### BIBLIOGRAFÍA

- FALLAHI, E. 1994. Root physiology, development and mineral uptake. AB Peterson and RG Stevens. Good Fruit Grower, Yakima, Washington, DC, 19-30.
- MARSCHNER, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. Elsevier Ltd. 3° edición.
- MENGEL, K & E.A. KIRBY. 1978. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. Bern, Switzerland. 654 pág.
- MIMMO, T. *et al.* 2017. Nutrient availability in the rhizosphere: A review. *In: VIII International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops. Acta horticulturae 1217: 13-28.*

capítulo

# 4

## EL SUELO COMO SOPORTE Y SUSTRATO

La selección de especies frutales a plantar en un huerto se basa, en primer lugar, en las características climáticas de la región y/o las posibilidades tecnológicas que logren contrarrestar ciertas adversidades, y luego se define el sistema de producción, en el cual el suelo debería ser uno de los componentes a considerar, por su carácter definitorio del éxito o fracaso de la plantación. Lamentablemente la experiencia indica que el suelo adquiere importancia cuando las plantas manifiestan problemas, pero rara vez antes.

Comúnmente, en la elección de la especie frutal pocas veces se tiene en cuenta la calidad del suelo y el resultado queda librado al azar. Si el suelo es profundo y químicamente fértil, seguramente no existirán inconvenientes en la futura plantación. Si por el contrario es somero o con alguna limitante química, se verá afectado el desarrollo de las plantas. El estudio de suelos previo a la plantación, puede definir al menos tres aspectos: 1) si es apto para frutales, 2) qué especie es la más aconsejable plantar y sobre qué portainjerto, y 3) qué labores culturales serán necesarias para la buena implantación y permanencia exitosa de la combinación portainjerto-especie-variedad elegida.

Por todo lo apuntado, queda claro que es importante conocer el suelo con anterioridad a la plantación debido a que, una vez realizada, hay labores culturales que ya no se podrán realizar, como el subsolado profundo de suelo (1 metro) cada 50-75 centímetros de distancia. Luego quedará determinado qué manejo cultural se debería seguir para obtener buenos resultados económicos.

Por tratarse de cultivos perennes, los frutales deben crecer idealmente en un sustrato sin limitantes. Todo impedimento al normal crecimiento de las raíces se traslada a la parte aérea de la planta, causando disminución de crecimiento, producción y merma en la calidad de la fruta. Este último aspecto es clave en la fruticultura moderna, en donde la productividad no se expresa en toneladas sino en cantidad de cajones de exportación embalados por hectárea.

## ESTUDIO DE SUELO PREVIO A LA PLANTACIÓN

Antes de la plantación se debe tener un conocimiento detallado del suelo de los diferentes cuadros. Sin dicho estudio no se pueden sugerir pautas correctas de manejo (labranzas, cobertura verde, etc.), riego y fertilización.

En áreas vírgenes, el uso de imágenes satelitales, que muestran variaciones de vegetación y relieves, ayuda a demarcar sectores de suelos con similares características, lo cual posteriormente debe ser corroborado a campo. Estos estudios disminuyen mucho el número de calicatas y muestras de suelo a analizar. De la manera tradicional, se debería realizar una calicata en forma sistemática cada 100 o 150 metros.

En las zonas bajo riego, sobre todo en aquellas que son niveladas a partir de un valle fluvial, caracterizadas por la marcada heterogeneidad de los suelos, se recomienda realizar al menos dos calicatas por lote para describir la sucesión de capas (u horizontes, si corresponde), dando especial importancia a los cambios texturales, a la presencia de capas compactadas y/o cementadas con carbonato de calcio o, la presencia y altura alcanzada por la capa freática. Una capa sub-superficial compactada, en combinación con el riego, puede dejar una “napa colgada” que mantenga condiciones de asfixia y reductoras por más tiempo. Lo ideal entonces es realizar una calicata para



determinar limitantes físicas y análisis de suelo de tipo descriptivo que incluya las determinaciones por capa que se detallan en el cuadro 4.1.

Con fines de riego, es importante conocer otras propiedades del suelo íntimamente relacionadas con el manejo del agua de riego, como la infiltración y las curvas de retención hídrica de cada horizonte o capa. Los análisis mencionados deberían realizarse para cada calicata hasta una profundidad de 150 centímetros, pero a veces el suelo no es tan profundo. El número de muestras a extraer en cada calicata depende de los horizontes o capas de suelo existentes. Si éste es uniforme se deberán extraer muestras compuestas para cada profundidad. Una muestra compuesta, está constituida por, al menos, 10 sub-muestras. Cada determinación analítica, tiene su justificación basada en la importancia que reviste cada uno de los parámetros.

**Cuadro 4.1.** Análisis descriptivo de suelos.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Extracto de saturación (cmol/l)</b>
Textura	Aniones
arcilla (%)	(Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )
limo (%)	Cationes
arena (%)	(Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> )
<b>Clase textural</b>	<b>Capacidad de intercambio catiónico (CIC, cmol/kg)</b>
<b>Estructura</b>	<b>Relación de adsorción del sodio (RAS)</b>
<b>pH</b>	<b>Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)</b>
pH en pasta	
pH hidrolítico	
<b>Materia orgánica (%)</b>	<b>Necesidad de yeso<sup>1</sup> (t/ha)</b>
	<sup>1</sup> Para suelos salinos y sódicos. También se puede emplear otras enmiendas como el azufre si existe reserva potencial de calcio en el suelo (carbonato de calcio).
<b>Conductividad eléctrica del extracto de saturación (dS/m)</b>	<b>Necesidad de cal<sup>2</sup> (t/ha)</b>
	<sup>2</sup> En suelos ácidos

## PROFUNDIDAD

Este valor, es crítico en la decisión de la capacidad de uso del suelo con destino a la plantación de frutales. Sin embargo, no se puede establecer una profundidad mínima general porque depende, por ejemplo, del tipo de portainjerto y del sistema de riego a utilizar. Sí se pueden aportar algunos conceptos que ayudan a decidir mejor su aptitud frutícola.

Es casi obvio señalar la preferencia por suelos profundos, sin limitantes físicas y químicas, pero esto no siempre se presenta. Desde el punto de vista nutricional, 30 centímetros de suelo pueden ser suficientes si se emplea fertirriego; sin embargo la disponibilidad de agua en horas de alta evapotranspiración puede ser limitante y las

plantas entrarán en estrés hídrico. Con modernos sistemas de riego, los frutales pueden prosperar con poco volumen de suelo. Aun así, la profundidad mínima no debería ser inferior a los 50-60 centímetros. En tanto que para montes frutales con riego gravitacional el suelo útil no debiera ser inferior a los 90 centímetros.

## TEXTURA

La proporción de arena, limo y arcilla conforman diversos grupos o clases texturales que se determinan mediante el conocido “triángulo de textura” (Figura 4.1).

La textura es un factor determinante de la capacidad de retención del agua (Cuadro 4.2) y la aireación del suelo. Otras propiedades del suelo relacionadas con la textura son la densidad aparente y la porosidad (Cuadro 4.3), propiedades que están íntimamente relacionadas a la infiltración del agua. La infiltración del agua en el suelo depende -entre otras cosas- del tamaño de los poros. Así por ejemplo, un suelo arenoso presenta menos porosidad que uno arcilloso, pero la infiltración es mucho mayor debido al mayor tamaño de sus poros.

La textura es también un factor determinante de la capacidad del suelo para almacenar nutrientes. A medida que el suelo incrementa su superficie por gramo, mayor es la adsorción de nutrientes en su superficie y en consecuencia mayor es su fertilidad. Basta mencionar que un gramo de arena fina tiene una superficie de aproximadamente 0,3 m<sup>2</sup>, valor muy inferior respecto de la superficie de una arcilla, que es de alrededor de 10.000 m<sup>2</sup> por gramo.

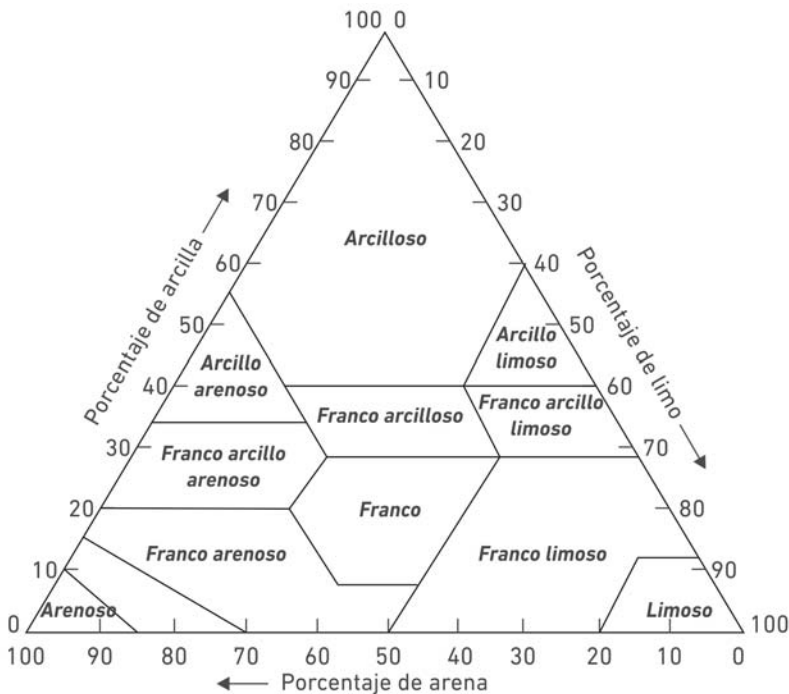


Figura 4.1. Triángulo textural.

**Cuadro 4.2.** Capacidad de retención de agua en función de la textura del suelo.

Clase textural	Cap. de retención (cm/m)
Arenoso/Arenoso franco	8 - 10
Franco arenoso	14 - 16
Franco, Franco limoso	18 - 21

**Cuadro 4.3.** La textura de los suelos y su relación con la densidad aparente del suelo y su porosidad.

Clase Textural	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
Arenoso	1,55	40
Arenoso franco	1,40	45
Franco arenoso	1,30	50
Franco	1,20	53
Franco limoso	1,15	55
Arcilloso franco	1,10	58
Arcilloso	1,05	60

## ESTRUCTURA

Las partículas del suelo se encuentran unidas, formando pequeños agregados por acción de la materia orgánica, el calcio y los óxidos. Los agregados del suelo dejan entre sí espacios que se llenan de aire y agua, confiriéndole propiedades como la porosidad, la infiltración, la retención de agua, la adsorción y la quelación de nutrientes.

La distinta disposición de los agregados origina estructuras como la granular, en bloques, laminar, etc. Cuando el sodio reemplaza al calcio, las partículas del suelo se desagregan adquiriendo una estructura de tipo laminar, lo que da lugar a un cambio total de su comportamiento. Tal es el caso de los suelos sódicos en regiones áridas bajo riego.

En el laboratorio se determina la estabilidad de los agregados mediante un análisis mecánico con el fin de romper la unión de las partículas e imita, en cierto modo, la acción mecánica de la labranza o aquellas prácticas culturales que tienden a oxidar la materia orgánica. La pérdida de estructura afecta la infiltración del agua en el suelo, al disminuir la proporción de macroporos, como así también la fertilidad del mismo por disminución de la materia orgánica.

En los huertos, el uso continuado de la rastra de discos atenta contra la estabilidad estructural de los agregados, condición que puede revertirse con la incorporación de materia orgánica en la forma de abonos verdes o estiércoles.

Otro factor que influye negativamente en la estructura del suelo, es la compactación provocada artificialmente por el paso de maquinaria pesada sobre el suelo húmedo, a los 20-30 centímetros. Esta compactación es más común en los suelos pesados que en los de textura arenosa y afecta la proporción de poros y la penetración de raíces en el perfil. La presencia de cobertura vegetal disminuye el efecto compactador del tránsito.

## pH

De las propiedades del suelo el pH es, sin duda, una de las más importantes. En la cátedra de Edafología de la Universidad Nacional del Sur, solían mencionar que la determinación del pH en el suelo era como medir la temperatura en el cuerpo humano. A medida que uno se enriquece en conocimientos comprende la verdad que encierra este concepto. Conocer el pH del suelo significa, ni más ni menos, saber qué cosas pueden estar pasando y cuáles son las consecuencias para la planta. Desde un punto de vista pragmático no se puede pedir más.

La acidez o alcalinidad del suelo se determina principalmente por la actividad de iones  $H^+$  fijados en relación a los demás iones. El pH de un suelo virgen está determinado por numerosos factores, entre los cuales se encuentran la naturaleza del material madre, el proceso de formación, el clima bajo el cual se formó, la textura y la presencia de sales. Una vez que el suelo comienza a cultivarse, el pH se puede modificar mediante prácticas culturales como el agregado de materia orgánica, la fertilización nitrogenada o el riego. El suelo tiene un efecto amortiguador o buffer debido a las arcillas y a la materia orgánica; es decir que el cambio de pH es menor en suelos pesados y con buena cantidad de materia orgánica, en tanto que suelos más sueltos sufren mayor variación.

En términos generales los frutales se adaptan a un rango amplio de pH, pero el valor óptimo para frutales de pepita y carozo se sitúa entre 6 y 7,5. Es importante destacar que el pH del suelo en contacto con la raíz (rizósfera) es diferente al pH del suelo. Ello se debe a que la raíz intercambia iones con el suelo próximo a ella ( $H^+$ ,  $OH^-$  y  $-HCO_3^-$ ) además de ácidos orgánicos en respuesta a estímulos diversos, como la necesidad de disminuir el pH para solubilizar algunos nutrientes como el Zn o el Fe, necesarios para satisfacer procesos metabólicos. La diferencia de pH entre la rizósfera y el resto del suelo puede ser de hasta dos unidades.

A manera de resumen se puede decir que el pH interviene directamente en: *i*) La disponibilidad de nutrientes, principalmente elementos menores y fósforo (Figura 4.2); *ii*) La solubilidad de sustancias tóxicas como el aluminio y manganeso a pH inferior a 5,5; la concentración de Al y Mn en el suelo se incrementa notablemente llegando a causar toxicidad en especies sensibles; y *iii*) El desarrollo y actividad de la microflora del suelo y de las raíces de las plantas. Estos tres aspectos influyen en el vigor del frutal, el ciclo de los nutrientes en el suelo y en la persistencia de los pesticidas en él.

En regiones con altas precipitaciones pluviales y temperaturas bajas, el pH del suelo tiende a ser ácido debido a la pérdida de Ca, mientras que en zonas áridas con altas temperaturas predominan los cationes Ca, Mg y Na y el pH tiende a ser superior a 7.

Tanto en suelos ácidos con pH inferior a 6 o en suelos alcalinos con pH superior a 8,5; es necesario recurrir a medidas correctivas mediante enmiendas a base de carbonato de calcio y magnesio en el primer caso o yeso en el segundo. Cualquiera sea la medida correctiva, se deben realizar análisis de suelo para establecer las dosis apropiadas. La marcada heterogeneidad de los suelos obliga a realizar un estudio cuidadoso para evitar tanto la subdosificación como la sobredosificación de la enmienda.

Con frecuencia se observa la aplicación masiva de yeso en regiones donde existen depósitos naturales sin justificación técnica o sin calcular las dosis adecuadas. En estos casos, el exceso de calcio llega a producir efectos no deseados como la cementación de suelos en profundidad y la precipitación de fósforo y microelementos.

Las aplicaciones de yeso deben ser sectorizadas, puntuales sobre el sitio donde hay presencia de sodio.

En huertos frutales, el monitoreo de pH se debe realizar al menos cada tres años. Es conveniente muestrear la zona de mayor concentración de raíces en sectores homogéneos del cuadro o lote y comparar los resultados con muestreos anteriores, para observar posibles tendencias.

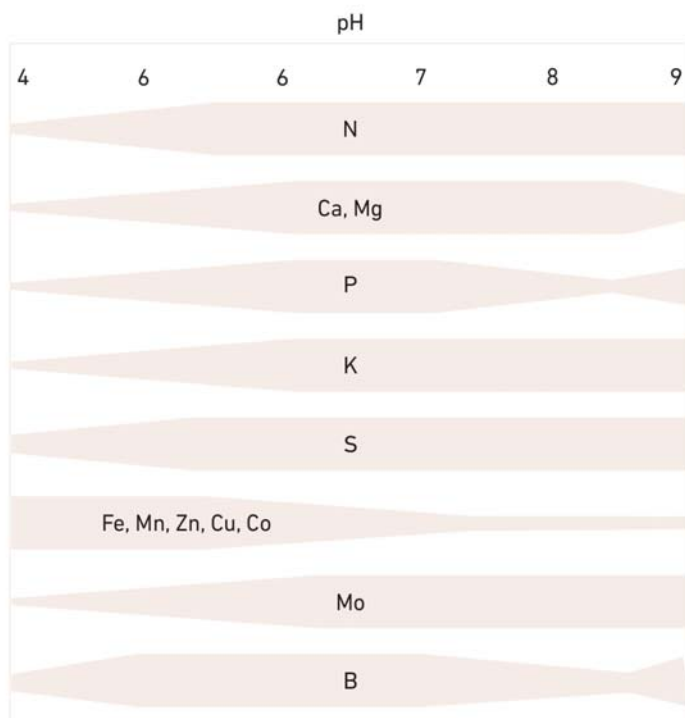


Figura 4.2. Disponibilidad de nutrientes en función del pH. El ancho de la barra indica el grado de disponibilidad (Brady, 1984).

## MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica (MO), tiene marcada influencia sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos. El contenido de materia orgánica nativa en los suelos depende del clima. En regiones áridas y semiáridas el porcentaje natural de materia orgánica es usualmente inferior al 1 % en superficie y menor al 0,5 % en profundidad. Estos niveles son extremadamente bajos e insuficientes para permitir buena estabilidad de los agregados, una correcta infiltración del agua y servir como reservorio de nutrientes, principalmente nitrógeno.

El manejo del suelo en un monte frutal incide sobre la estabilidad y el contenido de la materia orgánica. La labranza continua facilita la oxidación microbiana de los restos vegetales con la consiguiente liberación de nitrógeno y la disminución de la reserva orgánica. Bajo estos manejos, y de no existir aportes de abonos verdes, estiércoles o

compost, el suelo pierde su fertilidad física, la cual no es sencilla de restablecer en el corto plazo. Por el contrario, la fertilidad química del suelo no es tan crítica porque el aporte de nutrientes se puede hacer vía fertilizantes por suelo y foliar.

En nuestros días es muy común el manejo del interfilas con vegetación permanente y la línea de plantación con herbicidas. La variación de los niveles de materia orgánica a lo largo del tiempo es predecible. Mientras que en el espacio con cobertura vegetal se va a incrementar (suelos bien manejados llegan a acumular valores de materia orgánica bastante superiores a 2 %), en la porción libre de malezas va a disminuir. Las consecuencias de este manejo será la disminución de la fertilidad física en la zona tratada con herbicidas, pérdida de estructura, disminución de la infiltración del agua y salinización. Será necesario entonces recurrir a un manejo tipo mulch con material orgánico o al agregado periódico de estiércoles para amortiguar el efecto negativo que provoca el suelo desnudo.

## CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica (c.e.) es una medida de la presencia de sales en el suelo. Se expresa como dS/m (deci Siemens por m). Según lo establecido por el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Riverside cuando el valor de conductividad excede el valor de 4 dS/m el suelo se clasifica como salino.

En áreas de clima templado, con riego complementario, la conductividad no llega a ser determinante de la calidad del suelo. Por el contrario en áreas de clima árido y semiárido, donde los frutales dependen casi exclusivamente del agua de riego, la conductividad es un parámetro a tener en cuenta por las implicancias en la nutrición mineral de la planta y por el balance de sales en el suelo. De éstas, las sales más comunes son los cloruros y sulfatos de calcio, magnesio y sodio.

Existe una clasificación de suelos salino, salino sódico y sódico, teniendo en cuenta además la conductividad, el pH y el contenido de sodio intercambiable (Cuadro 4.4). Para tener una idea aproximada de la cantidad de sales presentes en el extracto de saturación en miligramos por litro (mg/l), se deben multiplicar los dS/m por 640. Por ejemplo, un suelo que tenga una c.e. de 6 dS/m, tendrá un contenido de sales de 3.840 mg/litro.

Los frutales varían en su tolerancia a las sales. Desde un punto de vista práctico, no se debe tener en cuenta la habilidad una especie de sobrevivir en presencia de sales, sino el rendimiento relativo del cultivo en un suelo salino, en comparación con el rendimiento en un suelo no salino en las mismas condiciones climáticas y de manejo. En los Cuadros 4.5 y 4.6 se clasifican diversas especies frutales de acuerdo a este criterio. Como se puede apreciar, se incluyen especies no tratadas en este libro, como la palma datilera o la granada, pero que sirven para comparar diversos frutales entre sí.

Si bien en el cálculo de lámina de riego se suma un exceso para permitir el lavado las sales, es importante mencionar la acción de la napa freática, diluyendo y elevando sales hasta la superficie, cuando los riegos no son suficientes o se abandonan.

**Cuadro 4.4.** Clasificación de suelos según su nivel de sales, pH y contenido de sodio intercambiable (Richards, 1973).

Suelo	C.E. (dS/m)	pH	Na interc. (%)
Salino	mayor de 4	menor de 8.5	menor de 15
Salino sódico	mayor de 4	menor de 8.5	mayor de 15
Sódico	menor de 4	mayor de 8.5	mayor de 15

**Cuadro 4.5.** Tolerancia relativa de los frutales a las sales.

Muy tolerante	Tolerantes	Medianamente tolerante	Poco tolerantes
Palma datilera	Granada	Ciruelo*	Peral
	Higuera		Manzano
	Olivo		Almendro
	Vid		Nogal
			Damasco
			Duraznero
			Cerezo
			Cítricos

\* El ciruelo aparece en la bibliografía como un cultivo poco tolerante a las sales. De acuerdo a experiencias en el Alto Valle de Río Negro, el ciruelo especialmente sobre pie Mirabolano se adapta a suelos con sales, siempre y cuando se lo maneje bien nutricionalmente.

**Cuadro 4.6.** Tolerancia de distintos frutales a la salinidad y su disminución del rendimiento. (FAO en Fuentes Yagüe, 1998).

Disminución del rendimiento	0%	10%	25%	50%	100%
Cultivo	Conductividad Eléctrica del extracto de saturación (dS/m)				
Granado	2,7	3,8	5,5	8,4	14
Higuera	2,7	3,8	5,5	8,4	14
Limonero	1,7	2,3	3,3	4,8	8
Manzano	1,7	2,3	3,3	4,8	8
Duraznero	1,7	2,2	2,9	4,1	6,5
Naranja	1,7	2,4	3,3	4,8	8
Nogal	1,7	2,3	3,3	4,8	8
Olivo	2,7	3,8	5,5	8,4	14
Palmera datilera	4,0	6,8	11,0	18,0	32
Peral	1,7	2,3	3,3	4,8	8
Vid	1,5	2,5	4,1	6,7	12
Zarzamora	1,5	2,0	2,6	3,8	6
Almendro	1,5	2,0	2,8	4,1	6,8
Ciruelo	1,5	2,1	2,9	4,3	7,1
Frambueso	1,0	1,4	2,1	3,2	5,5
Frutilla	1,0	1,3	1,8	2,5	4

## EXTRACTO DE SATURACIÓN

Esta determinación es fundamental en áreas bajo riego donde es muy común observar la presencia de sales. En esta situación interesa conocer la composición de aniones y cationes solubles. La determinación de los cationes, permite conocer la composición total de las sales como así también brinda información aproximada sobre los cationes intercambiables que se pueden encontrar. La determinación en sí es muy sencilla y en los suelos salinos sirve para calcular la relación entre el sodio y los cationes calcio y magnesio (relación de adsorción del sodio o RAS). La sumatoria de cationes debe ser igual o muy aproximada a la sumatoria de aniones.

## CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

Cuando la muestra de suelo se expone a una solución de acetato de amonio, ésta desplaza una cantidad equivalente de cationes del suelo hacia la solución que se denominan cationes intercambiables. En el suelo, los cationes se hallan ocupando espacios en la superficie de las arcillas y asociados a la materia orgánica.

Cada suelo tiene una capacidad limitada de cargas negativas para atraer cationes. Los suelos de textura pesada contienen más sitios con cargas negativas que un suelo más liviano o arenoso, por lo tanto la CIC es mucho mayor en el primero que en el segundo. Los suelos minerales tienen valores de CIC entre 3 y 25 miliequivalentes (meq) cada 100 g de suelo. En ese amplio rango a menudo no se observan respuestas manifiestas en el cultivo, siempre y cuando se fertilice convenientemente. En suelos orgánicos, la CIC es mucho mayor que en los suelos minerales. Como es de imaginar la CIC tiene una marcada implicancia en la nutrición mineral de la planta porque a mayores sitios de adsorción mayor es la reserva potencial de nutrientes.

La CIC no cambia significativamente con el manejo del suelo, en cambio sí lo hace la composición de los cationes intercambiables. El porcentaje de la CIC ocupada con la sumatoria de los cationes  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ , se conoce como porcentaje de saturación de bases. Idealmente un suelo debe contener entre 65 y 85 % de calcio intercambiable, de 6 al 12 % de magnesio, entre 2 y 5 % de potasio y 20 % de hidrógeno en el complejo de intercambio. El sodio debe permanecer entre el 1 al 5 %. Si el nivel de Na intercambiable es mayor a 15 % el suelo se clasifica como sódico.

La relación entre las bases de cambio es muy importante para los frutales. Por ejemplo la relación Ca/Mg debe situarse en un valor de 5-6. Si es mayor existen riesgos de deficiencia de Mg para variedades sensibles. Por el contrario, si la saturación de bases es baja, y resultase necesario ajustar su rango óptimo, se deberá optar por el encalado para incrementar la proporción de Ca o el agregado de calizas dolomíticas para elevar también la proporción de Mg. El K puede ajustarse con el empleo de cloruro de potasio.

En la práctica siempre conviene que el suelo presente un valor medio de CIC. Los suelos arenosos no retienen al ion amonio con facilidad y el nitrógeno producto de una fertilización con urea, sulfato o nitrato de amonio son propensos a perderse por lavado. Si se aplicara un fertilizante potásico se correría la misma suerte, aunque la movilidad del K en el suelo es mucho menor. Por el contrario, si la CIC es muy alta, el suelo puede inmovilizar al amonio y no entregarlo a la planta en el momento adecuado.



## NECESIDAD DE YESO (tn/ha)

Si el análisis de suelo arroja que el contenido de sodio es elevado, se deberá calcular la cantidad de miliequivalentes de sodio a reemplazar por calcio en el volumen de suelo deseado. Con fines prácticos conviene siempre dejar aproximadamente un 4 a 5 % de Na intercambiable. En suelos de textura más fina que el franco, la cantidad de yeso a incorporar puede llegar a ser muy alta si lo que se quiere corregir es toda la superficie del suelo. En ese caso, conviene incorporar yeso en la línea de plantación y corregir el resto del interfilar en forma gradual. En el Cuadro 4.6 se calculan las necesidades de yeso para una capa de suelo de 30 centímetros de profundidad dependiendo de la cantidad de sodio que se quiera desplazar.

Si por ejemplo el suelo tiene una CIC de 10 meq cada 100 gramos y posee 4 meq de sodio, significa que el PSI es de 40 %. Se desea reducir el PSI hasta un 10 % (de 40 a 10). Por lo tanto será necesario reemplazar 3 meq de Na cada 100 gramos de suelo. Según el Cuadro 4.7 harán falta 12,6 toneladas de yeso puro para mejorar el suelo en los primeros 30 centímetros. Así deberá calcularse cada capa u horizonte de suelo hasta una profundidad de 60-70 centímetros.

Es importante mencionar, ante necesidad de incorporar el yeso, que es común observar que queda en superficie pretendiéndose su incorporación a través del riego. De este modo no se produce el intercambio del sodio de la matriz del suelo por el calcio aportado con el yeso. Además, el lavado de sales, sean sódicas o no, se hace efectivo por percolación a través del perfil, no por escurrimiento.

**Cuadro 4.7.** Cantidades de yeso necesarias para sustituir las cantidades indicadas de sodio intercambiable.

Sodio intercambiable (meq/100 g)	Toneladas de yeso por hectárea-30 cm
1	4,2
2	8,8
3	12,6
4	16,8
5	21,0
6	25,2
7	29,4
8	33,6
9	37,8
10	42,0

## INFILTRACIÓN

La infiltración, es un parámetro importante a tener en cuenta en suelos con dependencia de riego y no es más que la penetración del agua por poros y grietas en función del tiempo. La intensidad o velocidad con que el agua penetra en el suelo, depende de la textura, el contenido de materia orgánica, la estructura de la capa superficial del suelo, la estabilidad de esta estructura frente al agua, además de la existencia de capas impermeables, del estado previo de humedad y en general de todo aquello que de alguna u otra forma influya sobre el escurrimiento del agua sobre la superficie del suelo, como es la pendiente, los desniveles y microrelieves por labranza y cobertura verde, entre otros factores.

Los valores medios de velocidad de infiltración del agua en el suelo para diversas texturas se presentan en el Cuadro 4.8 y pueden utilizarse como guía general.

**Cuadro 4.8.** Velocidad de infiltración promedio en diferentes clases texturales de suelo.

Textura	Infiltración (mm/h)
Arenoso	> 100
Arenoso franco	50 - 100
Franco arenoso a Franco	20 - 50
Franco limoso	10 - 20
Arcilloso	1 - 10

En el proceso de infiltración se considera al suelo como una sucesión de infinitas capas. El agua pasa de una capa a otra y recién cuando se haya colmado su capacidad de almacenaje, el sobrante pasa a una segunda capa. Cuando el agua penetra, hincha las partículas, obstruye los canalículos y reduce el espacio de los poros. Además el desalojo del aire del suelo no es total por lo que la velocidad de infiltración disminuye.

La infiltración se expresa en términos de velocidad -cm/hora o mm/hora- y puede medirse la infiltración instantánea, promedio o acumulada. La determinación a campo se realiza mediante un infiltrómetro de doble anillo que consta de dos cilindros concéntricos de 30 cm de altura y diámetro de 22 cm para el anillo interior y de 50 cm para el anillo exterior.

En el lugar elegido para hacer la medición, se coloca un anillo dentro de otro y con un leve golpe de martillo se entierra unos pocos centímetros. A continuación se agrega simultáneamente agua en el interior de ambos y se fija una altura de la columna de agua para iniciar la medida de infiltración en función del tiempo. A intervalos regulares se toma la altura del agua infiltrada en el cilindro interior, ya que el exterior funciona como buffer. Cada tanto se repone el agua en ambos cilindros, cuidando siempre que la altura en ambos permanezca a nivel.

Se toman lecturas a intervalos regulares hasta que la velocidad de infiltración por unidad de tiempo sea más o menos constante. En ese momento se dice que el infiltrómetro

entra en régimen y la velocidad alcanzada representa la llamada “infiltración básica” para el suelo en cuestión. En la Figura 4.3 se indican las curvas de infiltración acumulada de algunos suelos del Alto Valle de Río Negro sin limitantes físicas. El conocimiento de este parámetro permite calcular el tiempo requerido para que se infiltre en el suelo la lámina de riego establecida.

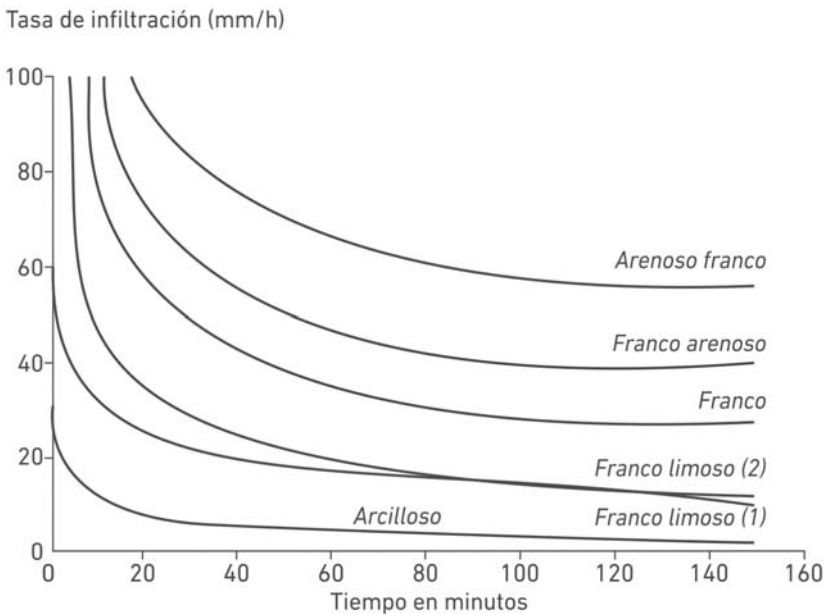


Figura 4.3. Curvas típicas de infiltración para diversas texturas.

## CONSTANTES HÍDRICAS

Cada suelo tiene una capacidad limitada de almacenar agua que depende fundamentalmente de la textura. El agua disponible para las plantas o agua útil, está comprendida entre los puntos de capacidad de campo (cc) y el punto de marchitez permanente (PMP).

### Capacidad de campo

Cuando el suelo se riega, los poros se llenan de agua, el aire queda desplazado, alcanzando un nivel de saturación. Luego de 24 a 72 horas, según el suelo sea de textura arenosa o arcillosa respectivamente, queda retenida una cierta cantidad de agua en la matriz del mismo, se recupera el espacio macroporoso con aire y se alcanza un punto de equilibrio, que se denomina capacidad de campo. Por definición la capacidad de campo es la cantidad de agua retenida cuando se ejerce una presión equivalente en el suelo de un tercio de atmósfera. En este estado, la capacidad de retención de agua es la máxima posible.

### Punto de marchitez permanente

A medida que la planta extrae agua, cada vez es mayor el trabajo de succión de la raíz para extraer la poca agua que queda hasta llegar a un límite de extracción, que se denomina punto de marchitez permanente. Si bien es cierto que algunas especies obtienen agua a muy bajas tensiones de suelo, la cantidad que el suelo posee a esos potenciales, es escasa. Por definición el punto de marchitez permanente es la cantidad de agua retenida en el suelo cuando se ejerce una presión equivalente de 15 atmósferas.

En la Figura 4.4 se grafican curvas de retención hídrica para distintos suelos. Se puede observar que en todos ellos, a partir de las 3 atmósferas de presión prácticamente no queda agua disponible, a pesar que el suelo contiene humedad. Para el caso de texturas franco limosas en el punto de marchitez permanente todavía queda un 27 % de humedad.

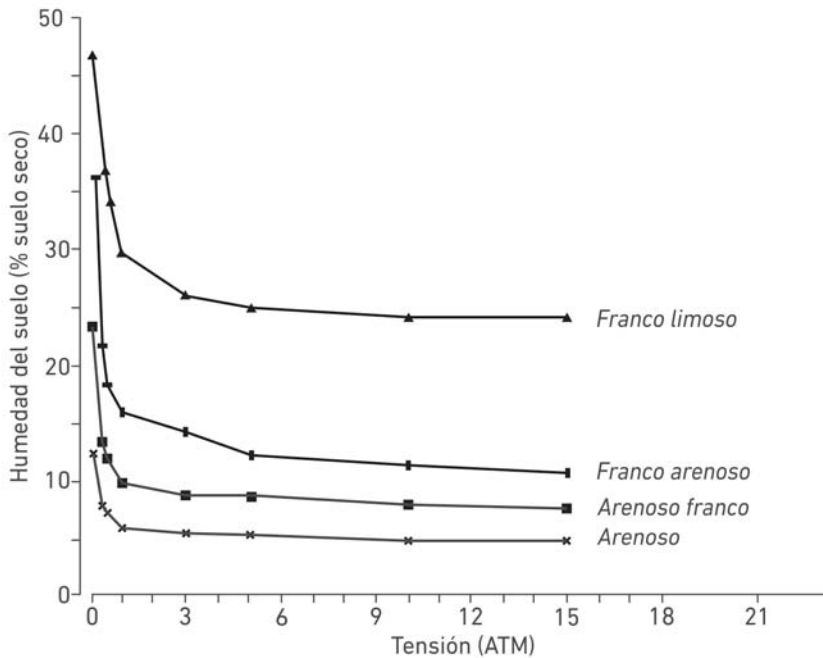


Figura 4.4. Curvas de retención hídrica de distintos suelos del Alto Valle de Río Negro (Requena, 1995).

Valiéndonos de las curvas de retención de humedad, se calcula el agua disponible en el suelo. Los resultados se pueden expresar en por ciento de agua útil (diferencia entre CC y PMP) o como capacidad de retención de humedad en milímetros de agua por metro de suelo y que consiste en multiplicar el valor de agua útil por la densidad aparente del suelo (Cuadro 4.9).

**Cuadro 4.9.** Porcentaje de agua útil y capacidad de retención de humedad para los suelos de la Figura 4.4.

Textura	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchitez Permanente (%)	Agua útil (%)	Cap. Ret. Humedad (cm/m)
Arenoso	1,65	9	4	5	8,3
Franco arenoso	1,50	14	6	8	12,0
Franco a Franco limoso	1,35	27	13	14	18,9

## ANÁLISIS DE FERTILIDAD

Los análisis descriptivos previos a la plantación, sirven para conocer el medio en el cual vivirán las nuevas plantas. Aun ignorando la fertilidad natural del suelo, podemos darnos cuenta de la disponibilidad potencial de nutrientes al considerar la profundidad, textura, contenido de materia orgánica y pH. Por ejemplo, si el suelo es profundo pero el pH es de 8,5; nos imaginamos problemas con los microelementos y disponibilidad de fósforo. Por el contrario, si todo fuera perfecto, deberíamos esperar que el cultivo se comporte en la zona como en el resto de las plantaciones. Es decir, en una región sin problemas aparentes de fertilidad no se justifica hacer análisis de suelo de manera periódica para observar la disponibilidad de nutrientes.

Hay casos realmente crónicos en donde no es necesario recurrir a un análisis de suelo. Tal es el ejemplo de la zona de Hood River, en Oregon (EEUU), donde se cultiva el peral sobre suelos que tienen alta fijación de fósforo. En esas condiciones el agregado de fertilizante fosfatado es condición indispensable para que las plantas crezcan bien. Cualquier análisis de P en el suelo dará un valor bajo.

Muchas veces puede surgir la pregunta acerca de la validez práctica de conocer la disponibilidad de macro y micronutrientes en suelos con diversos horizontes o capas. Después de todo, un valor bajo en el suelo, puede ser un valor normal cuando se analiza una hoja.

En fruticultura, el costo del fertilizante no incide sustancialmente en el costo total de producción (la excepción sería el fertirriego en suelos esqueléticos). Además en ausencia de limitantes físicas, los sistemas de riego presurizados, mejoran enormemente la eficiencia de aplicación de los fertilizantes en comparación al tradicional riego por inundación. Con este concepto se refuerza la idea de que el análisis de fertilidad de un suelo destinado a un frutal no es tan importante como el análisis descriptivo previo, en donde se enfatizan las características físicas complementadas con las determinaciones de materia orgánica, pH y salinidad.

Para suelos más someros y uniformes, especialmente aquellos situados en áreas nuevas para el cultivo de frutales, el análisis de fertilidad puede aportar buenos datos preliminares. Será necesario determinar, además de materia orgánica, los cationes intercambiables, fósforo y microelementos. Idealmente los valores se deberían encontrar en los rangos que aparecen en el Cuadro 4.10.

**Cuadro 4.10.** Rango de nutrientes considerados normales en suelos.

Fósforo (Bray II)	20-30 mg/kg
Fósforo (Olsen)	10-15 mg/kg
<b>Cationes intercambiables (% cic)</b>	
Potasio	3-4 %
Calcio	70-80 %
Magnesio	12-15 %
<b>Micronutrientes extraíbles (EDTA)</b>	
Hierro	10-15 mg/kg
Manganeso	8-10 mg/kg
Cobre	3-5 mg/kg
Cinc	8-10 mg/kg

## BIBLIOGRAFÍA

- BESTVATER, C.R. & C.H. CASAMIQUELA. 1983. Distribución textural de los suelos del Alto Valle del Río Negro. Boletín de divulgación técnica numero 29.
- BRADY, N.C. 1984. The nature and properties of soils. Macmillan Publishing Company, New Cork. p. 750.
- FUENTES YAGÜE, J.L. 1998. Técnicas de riego. Tercera edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- HOLZMANN, R. 2010. Desarrollo y evaluación de un índice de calidad de suelo en montes de pera manejados bajo dos sistemas de producción, convencional y orgánico, en el Alto Valle de Río Negro. Tesis de la Maestría de fruticultura de clima templado frío. Convenio Università degli Studi di Bologna-INTA-UNCO.
- HOLZMANN, R. y REQUENA, A. 2015. Disminución de la salinidad de un suelo regado por goteo utilizando riego por aspección. xxv Congreso Nacional del Agua. Paraná, 15 al 19 de junio del 2015.
- INTA. 1996. Métodos de Riego. Modulo I. Curso a distancia.
- REQUENA, A.M. 1995. Curso de manejo del riego por superficie a nivel de predio. INTA Alto Valle.
- RICHARDS, L.A. 1973. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Editorial Limusa, México. 172 pag.
- SANSAVINI, S., COSTA G., GUCCI, R., INGLESE, P., RAMINA, A. & XILOYANNIS, C. (editors) 2012. General Arboriculture. Pàtron Editore, Bologna, Italy, p. 536.

*capítulo*

# 5

## EL SUELO Y LA VIDA QUE NO VEMOS

El suelo está conformado parcialmente por material inerte y por una población muy variada de microorganismos. Éstos desarrollan sus procesos vitales tomando la energía que necesitan a partir de la oxidación de los residuos orgánicos que dejan las plantas y los animales. Las plantas a su vez viven a expensas de los productos de la actividad microbiana, ya que los microorganismos oxidan los restos vegetales dejando como residuo y en forma asimilable, los compuestos minerales que aquellas necesitan para crecer y desarrollarse. Se dice que un suelo es fértil cuando, además de estar bien constituido por reservas minerales asimilables, también dispone de una intensa vida microbiana capaz de reciclar el material orgánico con rapidez y poner los minerales a disposición de las plantas.

Los microorganismos del suelo pueden clasificarse en dos grandes grupos:

1. *La microflora, constituida por las bacterias, actinomicetos, hongos y algas,*
2. *La microfauna, integrada por protozoos, nematodos, gusanos y artrópodos.*

Estos organismos necesitan los alimentos para dos fines distintos: como fuente de energía para sus procesos vitales y para elaborar los tejidos que los constituyen. La microflora se sirve de fuentes de alimentos diferentes para obtener energía. La mayoría de las algas y unas pocas clases de bacterias, pueden hacer uso de una parte de la energía liberada cuando se oxidan ciertos compuestos inorgánicos (por ejemplo el hidrógeno o sulfuros), mientras que la mayor parte de la microflora puede usar parte de la energía liberada cuando se degradan u oxidan azúcares y otros compuestos orgánicos.

Los componentes de la microflora se clasifican en *autótrofos*, que son los microorganismos capaces de utilizar el carbono del dióxido de carbono como única fuente de carbono para construir sus tejidos corporales, y *heterótrofos*, los que no tienen esta capacidad y dependen de compuestos energéticos ya elaborados.

Las plantas verdes, la mayor parte de las algas y algunas bacterias representan los organismos autótrofos del ecosistema mientras que la mayor parte de las bacterias y todos los actinomicetos y hongos son heterótrofos.

Los organismos autótrofos son los productores primarios de materia orgánica, y aunque las plantas verdes superiores son de ordinario los suministradores más importantes de material rico en energía al suelo, algunos de los microorganismos autótrofos pueden contribuir apreciablemente a tal fin. Los organismos autótrofos se pueden clasificar en dos grupos: el *fotosintético*, que contiene clorofila de una u otra clase y es capaz de utilizar la energía solar para reducir el dióxido de carbono a azúcares y el *quimiosintético*, que tiene que realizar oxidaciones inorgánicas auxiliares para obtener esta energía.

Los organismos fotosintéticos son de muy poca importancia en el suelo, y están confinados casi con exclusividad a algunas algas, aunque en ciertas condiciones pueden encontrarse algunas bacterias fotosintéticas.

Los organismos autótrofos quimiosintéticos, comprenden a un grupo de bacterias que pueden obtener su energía a partir de una gama considerable de oxidaciones, tales como el paso de hidrógeno a agua, de sulfuro de hidrógeno a azufre, de amoníaco a nitrato y de nitrito a nitrato, y de ion ferroso a ion férrico.

Los organismos autótrofos necesitan nitrógeno y lo obtienen de las sales de amonio o de los nitratos, siendo éstas frecuentemente las fuentes preferidas. Unos pocos organismos autótrofos pueden fijar el nitrógeno atmosférico como fuente primaria;



por ejemplo todas las bacterias fotosintéticas creciendo en condiciones anaeróbicas adecuadas y algunas algas verdiazules en condiciones aeróbicas.

Los organismos heterótrofos, por otra parte, se clasifican según la complejidad de sus exigencias en elementos nutritivos imprescindibles. La mayor parte de la microflora, por ejemplo, puede utilizar los azúcares simples como fuente principal de energía. Estos microorganismos tienen unas demandas de alimento muy amplias y variadas. Los miembros no especializados pueden obtener todo el carbono para sus tejidos de los azúcares simples o ácidos grasos, y su nitrógeno de compuestos inorgánicos de este elemento. Algunas bacterias hacen uso del nitrógeno gaseoso.

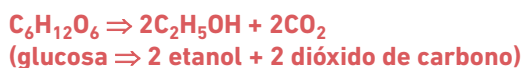
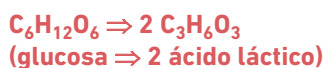
## ORGANISMOS AEROBIOS Y ANAEROBIOS EN LA MICROFLORA DEL SUELO

Todos los organismos tienen que respirar para vivir, pero han desarrollado diferentes métodos de respiración. Los aerobios obligados necesitan oxígeno libre, mientras que los anaerobios facultativos pueden vivir en ausencia de éste. Los anaerobios obligados únicamente viven en ausencia de oxígeno.

Los hongos del suelo y actinomicetos son aerobios, mientras que las bacterias comprenden grupos que tienen todos los grados de tolerancia para deficiencias progresivas de oxígeno, oscilando desde los anaerobios obligados estrictos, pasando por numerosos grupos relativamente insensibles al aporte de oxígeno.

La respiración es un proceso que libera energía a expensas de una reacción química. En los organismos heterotróficos la glucosa es la fuente de energía, la que es degradada a dióxido de carbono y agua. El oxígeno es el aceptor final de los  $H^+$  en muchas bacterias. Bajo condiciones anaeróbicas, el oxígeno combinado puede ser aceptor final de los  $H^+$ , tal es el caso de los iones  $NO_3^-$  o  $SO_4^{2-}$ . Este proceso tiene una gran importancia en los suelos, porque la desnitrificación o pérdida de nitrógeno de los suelos es producto de un desdoblamiento del ion  $NO_3^-$  a  $O_2$  y  $N_2$  en condiciones anaeróbicas. En suelos con problemas de drenaje, la pérdida por medio de este mecanismo puede llegar a ser muy importante (20-40 %, según el contenido de materia orgánica).

Para la respiración anaerobia en cambio, no son necesarias fuentes de oxígeno. El proceso más simple, en el cual una molécula de azúcar se divide en dos moléculas de ácido láctico, reacción que realiza un grupo numeroso de bacterias, no implica transporte alguno de H. Otro proceso de respiración anaeróbica es llevado a cabo por levaduras que convierten la glucosa en alcohol y dióxido de carbono. Las reacciones son las siguientes:



La diferencia fundamental desde el punto de vista biológico entre la respiración aerobia y anaerobia radica en la cantidad de energía liberada. La oxidación de la glucosa a  $\text{CO}_2$  y agua libera 690 kcal/mol de azúcar, en cambio el pasaje de glucosa a ácido láctico libera solamente 18 kcal y el paso de glucosa a alcohol libera 30 kcal. Por lo tanto, un organismo anaerobio deberá procesar mucho más material orgánico para obtener la misma cantidad de energía.

La fauna edáfica del suelo ha sido mucho menos estudiada que los hongos y bacterias. En la actualidad, se enfatiza cada vez más la producción ecológica de alimentos, como la producción agroecológica, orgánica, o biodinámica, los estudios acerca de la micro y mesofauna del suelo se han popularizado enormemente. Dichas investigaciones dan cuenta que estos organismos del suelo cumplen funciones muy importantes, porque ayudan a degradar el material vegetal y animal que sirven de sustrato a los microorganismos y mejoran sustancialmente la estructura del suelo.

De todos los constituyentes de la fauna del suelo, sin duda la lombriz de tierra es la más importante por sus efectos benéficos directos en la fertilidad de éste. Las lombrices de tierra consumen tierra con restos vegetales, aunque también pueden consumir material orgánico ya degradado. En suelos donde el contenido de humedad es bueno, las lombrices de tierra se sitúan cerca de la superficie, en cambio si el nivel de humedad es limitante y las temperaturas son altas, las lombrices se localizan a mayor profundidad. Estas, tienen una mínima capacidad de digerir compuestos como la celulosa y la quitina de los hongos gracias a la presencia de enzimas específicas en su tracto digestivo, estando sus deyecciones mayormente constituidas por suelo. Necesitan mucho calcio para vivir, por esta razón no están presentes en suelos muy ácidos.

Las lombrices de tierra, son importantes agentes en mezclar residuos superficiales muertos con la masa principal del suelo. De esta manera los residuos vegetales están más en contacto con las bacterias y hongos. La formación de galerías en el suelo mejora la aireación en los estratos superficiales, los que pueden ser ocupados por raíces. La excreta de las lombrices, formada por gránulos de tierra y material orgánico unido con calcio no sólo mejora la agregación del suelo sino que también aumenta la capacidad de retención de agua. Cuanta más materia orgánica posea el suelo, más sustrato disponible estará al alcance de las lombrices para su ingesta. La composición química de las deyecciones de las lombrices depende mucho del material orgánico que ingieren, por lo que se diferencia obviamente de la composición química del suelo.

En la actualidad se encuentra muy difundido el empleo de lombricompuesto como abono orgánico, elaborado por acción de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). La elaboración de este compuesto en cantidad suficiente requiere conocimiento, atención e instalaciones adecuadas. A manera de ejemplo se presentan en el Cuadro 5.1 datos analíticos de un lombricompuesto obtenido a partir de estiércol de vacuno (Companoni & Putzolu, 2018).

**Cuadro 5.1.** Análisis típico de un lombricompuesto proveniente de estiércol de vacuno. Los resultados se expresan en porcentaje de materia seca.

Materia orgánica	55 - 70 %
Humedad	30 - 40 %
Ácidos húmicos totales	4 - 17 %
pH	6,7 - 7,2
Nitrógeno total	1,5 - 2 %
Fósforo	1 %
Potasio	1,5 - 2,0 %

Además de la riqueza mineral, el lombricompuesto posee una riqueza microbiana de alto valor. Su empleo en cultivos frutales merece algunas consideraciones. En primer lugar, se necesitan dosis de aplicación no menores a las 5 toneladas por hectárea para lograr mejoras sustanciales en la nutrición de los cultivos. En segundo lugar, como todo abono orgánico, es una combinación de varios macro y microelementos y puede ocurrir que en caso de deficiencias puntuales el abono no llegue a corregirlas. Si el lombricompuesto se aplica en cantidad, no se discute su accionar en el suelo; de lo contrario es preferible la aplicación de estiércoles que son de mucho más fácil manejo. En el cuadro 5.2 se presentan la composición usual de distintos tipos de estiércoles utilizados (Bernal *et al.*, 2009).

**Cuadro 5.2.** Composición usual de estiércoles de distintos orígenes.

Origen	Materia seca (%)	C orgánico (%)	N total (g/Kg fresco)	pH promedio
Ganado vacuno	14 - 30	6,5 - 12,5	4 - 8	8,5
Ganado porcino	15 - 33	4 - 13	3,5 - 11	8,0
Aves de corral	22 - 70	10 - 60	10 - 60	7,5

Cada suelo posee una microflora y una microfauna estable y en equilibrio con el ambiente. Cuando por alguna razón se introducen otros microorganismos, éstos normalmente no pueden competir en ese nuevo ambiente y desaparecen. Tal puede ser el caso de la introducción de hongos y bacterias de guanos, compost y lombricompuesto, donde la enorme cantidad de microorganismos pueden prosperar un cierto tiempo pero corren el riesgo de desaparecer cuando ya no son tan dominantes.

Los nematodos, constituyen uno de los componentes numéricamente más importantes de la cadena trófica del suelo y son consumidores de la materia orgánica. No debemos pensar a los nematodos como microorganismos perjudiciales para los cultivos. Si bien el grupo de los fitófagos se alimentan de material vegetal y son responsables de daños en especies cultivadas, los restantes cuatro grupos intervienen en la descomposición de la materia orgánica del suelo con distinto grado de especificidad, incluso los bacteriófagos y fungívoros intervienen en el inicio del proceso de mineralización del nitrógeno.

La estabilidad de la población microbiana, puede alterarse cuando se incorporan al suelo nuevas fuentes de material energético, tales como un abono verde o estiércol. En tales situaciones se produce un gran incremento de hongos que son necesarios para la descomposición del nuevo sustrato. A medida que el sustrato desaparece, la población de hongos también disminuye.

Los organismos del suelo tienen requerimientos similares a las plantas para poder crecer y reproducirse: necesitan una fuente de energía, agua, sustancias minerales y un rango óptimo de temperatura. En el suelo de cualquier huerto frutal, la vida microbiana depende de los aportes orgánicos que les brindan las plantas o los abonos.

El suelo contiene compuestos inorgánicos, que pueden modificarse químicamente por los microorganismos, sin llegar a formar parte de sus cuerpos. Tal es el caso en suelos bien aireados de la oxidación de sustancias en estado reducido. En condiciones de moderada aireación como ocurre en la mayoría de los suelos, se producen procesos de oxidación-reducción reversibles como ocurre en los sistemas  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^-/\text{S}^{2-}$  y  $\text{Mn}^{4+}/\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ , entre los más comunes. Desde el punto de vista de la nutrición mineral de las plantas, estos cambios son importantes ya que las formas reducidas de Mn y Fe son las formas preferidas por las raíces.

Las oxidaciones y reducciones son llevadas a cabo por bacterias. En general las oxidaciones las llevan a cabo autótrofos especializados, mientras que las reducciones la realizan heterótrofos no especializados.

Muchos de estos procesos se llevan a cabo en la rizósfera. Se denomina así a la zona del suelo en íntimo contacto con la raíz, y que se caracteriza por presentar propiedades diferentes al resto del mismo. Por ejemplo, es una zona de fluido intercambio de iones entre el medio y la raíz, presenta condiciones de pH diferentes y es, por sobre todas las cosas, una zona con intensa actividad microbiana. Es así que en la rizósfera ocurren numerosos y variados procesos que involucran a la planta y los microorganismos. Allí vive una microflora variada que consumen exudados radicales y que a la vez disuelven nutrientes haciéndolos más disponibles para la planta.

## DESCOMPOSICIÓN MICROBIANA DEL MATERIAL VEGETAL

Los constituyentes de las plantas, son la materia prima para la alimentación de los microorganismos y para la producción de la materia orgánica del suelo. En un huerto frutal, la incorporación de materia orgánica al suelo en forma natural ocurre por la descomposición de la cobertura verde (renuevo de raíces y desbrozadas de la parte aérea), por la caída natural de las hojas del frutal en el otoño y por el agregado al suelo del material de poda. La materia orgánica también se entrega al suelo en forma de compost, estiércol y orujos derivados estos de la industria juguera y vitivinícola. Con excepción del compost, que ya ha sufrido una digestión microbiana previa, el resto de los compuestos orgánicos debe sufrir una transformación en el suelo que depende de la naturaleza química de sus componentes.

Las plantas consisten en un armazón esquelético de fibras de celulosa, hemicelulosa y ligninas, de compuestos de reserva como almidón y grasas y de sustancias que conforman el contenido celular vegetal, integrado principalmente por azúcares y proteínas. Con mayor o menor participación, éstos son los componentes de una hoja, una raíz, un tallo o un fruto.

El proceso de descomposición del material vegetal, es liderado por hongos saprófitos que van desde los sacarolíticos que atacan azúcares, celulolíticos que desdoblan a la celulosa y por último los que atacan la lignina. Los hongos sacarolíticos son Ficomicetes que están ampliamente distribuidos en el suelo. Sus esporas germinan ni bien encuentran un sustrato disponible y extienden rápidamente sus hifas, dominando de esta manera la presencia de otros hongos. Los hongos celulolíticos, secretan enzimas que atacan a la celulosa y la convierten en unidades más simples. En general, son Ascomicetes y Basidiomicetes y presentan una velocidad de crecimiento intermedia. Por último los hongos que atacan a la lignina son Basidiomicetes superiores, de crecimiento muy lento.

La descomposición de la celulosa, es un proceso muy rápido que va acompañado de la liberación de dióxido de carbono y calor. Además de los hongos, las bacterias se encargan de desdoblar celulosa, principalmente en suelos con escasa aireación y de pH neutro. La lignina en cambio, es de descomposición muy lenta y ciertos enlaces químicos no pueden ser atacados por los microorganismos. En consecuencia la contribución de la lignina a la formación de humus es prácticamente nula.

La microflora del suelo necesita N para poder crecer y multiplicarse. Si la concentración de N del material vegetal a descomponer es baja y se encuentra en el orden de 0,5 a 1.0 % como lo puede ser en una hoja senescente o en la madera de poda, los microorganismos toman N disponible en el suelo. Si el valor de N aumenta y está cercano a 1,5 %; prácticamente no existe liberación neta de N, pero en cambio es mucho lo que se fija en los propios microorganismos. Este proceso se conoce como inmovilización, porque es N que se encuentra en el sistema pero que no está directamente disponible para la planta. Por lo tanto, para que exista una mineralización neta positiva de N el material a descomponer debe ser rico en esta sustancia. De esa forma se produce liberación de amoníaco y por último, de nitratos.

La constitución del material a degradar se puede representar por la relación C/N. A medida que esta relación se hace más estrecha, mayor es la mineralización del N y menor su inmovilización. La Figura 5.1 ilustra el concepto de inmovilización/nitrificación para la descomposición de un residuo vegetal con una relación C/N elevada. En este caso, existe un consumo de nitratos por parte de los microorganismos con el fin de constituir su masa microbiana, a la vez que se libera  $\text{CO}_2$ , por la descomposición del material vegetal. En consecuencia, el N se inmoviliza formando parte constituyente del tejido microbiano.

En cambio, cuando la relación C/N es inferior a 20, existe una ganancia neta de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ . Si la misma relación varía entre 20 y 30 no existen ganancia ni pérdida de nitrógeno mineral en el suelo. Dada la importancia de la relación C/N en predecir si se quiere la liberación de nitratos al suelo en función del tiempo, en el Cuadro 5.3 se mencionan las relaciones C/N promedio de diversos compuestos orgánicos que son parte del ecosistema frutal.



Es importante destacar que para una misma relación C/N, el grado de inmovilización depende además del contenido en lignina. Si el contenido de lignina es alto, la velocidad de descomposición es lenta, por lo tanto hay poca inmovilización de N. Por el contrario, si la masa de hongos saprófitos ataca activamente la celulosa, su reproducción en suelos es tal que necesitan del abastecimiento de N. A manera de conclusión se citan aquellas situaciones que favorecen la descomposición rápida del material vegetal.

- 1- *Contener poca lignina y ceras*
- 2- *Baja relación C/N.*
- 3- *Buena aireación y humedad del suelo*
- 4- *Temperatura de suelo entre 15°C y 30°C.*

## LA CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS

Los compuestos de carbono que existen en el suelo, están en un continuo flujo: permanentemente están añadiendo residuos vegetales hidro-carbonados, los cuales sufren una serie de descomposiciones y síntesis; parte del carbono incorporado se convierte en protoplasma o cuerpo de los microorganismos; parte en productos de excreción de estos microorganismos; y otra parte se convierten en compuestos más estables, de más difícil descomposición.

La principal pérdida del carbono en el suelo, es mediante la forma de dióxido de carbono que se difunde en la atmósfera o se arrastra por lavado como bicarbonato o ácido carbónico. En general, la materia orgánica permanece más estable cuando menos se disturbe el sistema; si el suelo se airea este equilibrio se modifica.

La proporción de materia orgánica de un suelo, aumenta mientras se incorporen residuos vegetales. Así es que en un huerto se logrará incorporar en forma constante, materia orgánica en los estratos superficiales del suelo mediante la caída natural de las hojas más algún agregado de estiércol u otra fuente orgánica. Pero ni bien este sistema se perturbe por acción mecánica la materia orgánica se degrada rápidamente, dependiendo de la aireación del suelo, el contenido de calcio y la temperatura. Es así que no cabe esperar, en condiciones normales, un aumento sustancial de materia orgánica en profundidad; por el contrario, en la mayoría de los suelos con cultivo de frutales, existe una notable diferencia entre el contenido de materia orgánica entre los primeros 15 cm de suelo y los 30-45 cm de profundidad. Esto se debe a que el sistema radical de los frutales aporta en ellos cantidades ínfimas de materia orgánica.

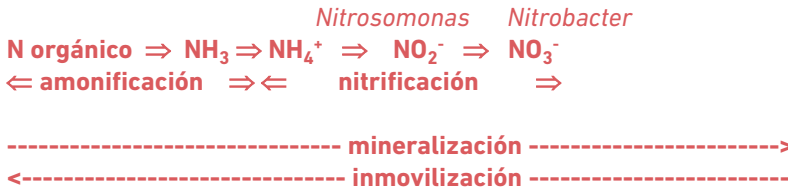
Los cambios en la materia orgánica del suelo producto del manejo, van precedidos por cambios que se suceden en la microbiología del suelo. Por lo tanto, la biomasa microbiana como medición de la actividad enzimática, es un indicador rápido del estado de la mo del suelo. Estudios en el Alto Valle de Río Negro en un monte con diferentes coberturas verdes revelaron que la mayor biomasa microbiana y actividad de la enzima catalasa se correspondía con las coberturas permanentes de leguminosas mientras que el manejo del suelo con aplicación de rastra anual y vegetación natural mostraron los valores más bajos (Gili *et al.*, 2007).

## MINERALIZACIÓN E INMOVILIZACIÓN DEL NITRÓGENO

El ciclo del N en el suelo se centra fundamentalmente en los procesos de mineralización e inmovilización. La mineralización es la transformación del nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral, mientras que la inmovilización es el proceso opuesto, es decir el paso de fuentes inorgánicas de N a formas orgánicas (biomasa microbiana).

La conversión del nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral, ocurre a través de transformaciones bioquímicas llevadas a cabo por microorganismos que, como es lógico, están supeditadas a factores externos que controlan su actividad como el pH, la humedad y la temperatura del suelo.

El proceso completo se simplifica en el siguiente esquema:



Como se aprecia, la mineralización se divide en dos etapas: la amonificación y la nitrificación. Mientras que la primera es llevada a cabo por microorganismos heterotróficos, aerobios y anaerobios, la siguiente conversión de amonio a nitrato necesita de la actividad combinada de dos grupos de bacterias autotróficas aerobias que son las *Nitrosomonas* y las *Nitrobacter*.

### Amonificación

El sustrato orgánico inicial está conformado por macromoléculas (proteínas, ácidos nucleicos, y aminopolisacáridos). Su desdoblamiento en moléculas más simples (aminoácidos, bases nitrogenadas y amino azúcares) hasta llegar al ion amonio, se realiza con intervención de enzimas específicas que son secretadas por numerosos microorganismos.

Otro de los sustratos orgánicos nitrogenados en un suelo con frutales es la urea, que se agrega como fertilizante. Precisamente, el primer paso de su descomposición, tiene como productos al dióxido de carbono y al amoníaco gracias a la intervención de la enzima ureasa que es muy común en los suelos.

### Nitrificación

El amonio formado sufre un proceso de oxidación que las bacterias del grupo *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* utilizan para obtener energía y poder fijar el dióxido de carbono. El primer paso de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_2^-$  es lento pero el de  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$  es muy rápido.

Desde el punto de vista práctico interesa conocer aquellos factores que modulan este proceso, que es de singular importancia en la nutrición de frutales. A menudo cuando se habla de nitrógeno, siempre se piensa en el agregado de un fertilizante, sin tener en cuenta que la fábrica natural del fertilizante nitrogenado es el suelo y que pasa por momentos de real escasez o estrés, hasta momentos de alta disponibilidad que puede causar un exceso de vigor en la planta o pérdida de calidad en la fruta.



Mientras que en el primer caso, una adición de fertilizante puede restablecer el nivel de amonio y nitratos del suelo, en el segundo caso no existen muchas técnicas prácticas para frenar la disponibilidad de nitrógeno para las plantas. El concepto que se debe manejar es que los frutales, como cualquier vegetal, toma los nitratos del suelo sin distinguir su origen (fertilizante o materia orgánica), y salvo condiciones muy especiales como puede ser la de un suelo somero y con escasa materia orgánica, siempre la absorción de N del suelo tendrá su predominio en la fuente endógena (materia orgánica) más que en la exógena (fertilizante).

Al ser la nitrificación un proceso biológico, los factores que modulan su velocidad no son más que aquellos que intervienen directamente en la actividad microbiana: temperatura, humedad, pH, y disponibilidad de sustrato ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ). La temperatura óptima de los nitrificadores se sitúa en los 25°C y cesan prácticamente su actividad a temperaturas mayores a los 35 °C, de igual manera, por debajo de 5 °C la actividad de estos microorganismos es prácticamente nula. La humedad del suelo es importante porque el  $\text{O}_2$  y el  $\text{CO}_2$  (extraído a partir del  $\text{HCO}_3^-$ ) que toman las bacterias, provienen de la solución del suelo. Si la demanda de  $\text{O}_2$  por parte de los heterótrofos es alta o existen condiciones de saturación de los poros del suelo, la nitrificación disminuye.

## UTILIZACIÓN DEL AMONIO Y NITRATO

En el suelo, la lucha por obtener alimento es muy grande. A la infinidad de microorganismos presentes, se debe sumar a las plantas frutales como integrantes del agroecosistema. La secuencia de reacciones en cadena, donde un producto microbiano es sustrato de otro, conforma una dinámica única en cada sector de suelo.

Parte o todo el  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  formado es consumido por la microflora heterótrofa y convertido en masa microbiana (inmovilización del N), mientras que otra parte es tomada por las plantas. Por lo tanto, una disponibilidad grande de nitratos en un momento dado dará cuenta de un balance positivo del proceso de nitrificación, mientras que una abrupta disminución es clara evidencia de una inmovilización por parte de los microorganismos. En este juego constante, son importantes las relaciones carbono-nitrógeno (C/N) de la materia orgánica a descomponer, como se enfatizó anteriormente.

### BIBLIOGRAFÍA

- BERNAL, M.P.; ALBUQUERQUE, J.A. & MORAL, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource technology*, 100(22), 5444-5453.
- COMPAGNONI, L. & PUTZOLU, G. 2018. Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del humus. Parkstone International.
- FOLLETT, R.F. & HATFIELD, J.L. 2001. Nitrogen in the environment: sources, problems, and management. *The Scientific World Journal*, 1, 920-926.
- GILL, P.; C. ARUANI; E. MAERO; E. SÁNCHEZ & M. SAGARDÓY. 2007. Cambios biológicos del suelo asociados al manejo de la cobertura vegetal en un huerto orgánico de manzano. *Terra Latinoamericana* 25:279-286.
- STEVENSON, F. J. 1986. *Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, and micronutrients*. John Wiley and Sons, New York, 991 pag.

capítulo

# 6

## MANEJO DE SUELOS EN MONTES FRUTALES

Establecer el manejo del suelo más conveniente para cada monte frutal no es tarea sencilla. Las técnicas de manejo de suelo en los montes frutales incluyen: la labranza o el cultivo de coberturas perennes en los espacios interfilares, el uso de herbicidas en la fila de plantación o el uso de mulch, la aplicación de estiércol u otras enmiendas orgánicas y el agregado de fertilizantes inorgánicos. Cada chacra representa una situación particular de tipo de suelo y sistema de cultivo que condicionan en gran medida las prácticas a realizar. En primer lugar, se debe mencionar al sistema de riego y los sistemas de conducción. Así por ejemplo, en un monte con conducción libre y baja densidad de plantas por hectárea, los puntales condicionan el manejo del suelo y el control de las malezas. En cambio si el cultivo tiene una defensa activa contra las heladas tardías, el manejo del suelo puede ser mucho más conservacionista. Lo mismo puede decirse de una plantación de alta densidad con riego presurizado.

En montes tradicionales, la labranza del suelo no sólo se hace con el fin de dejarlo desnudo en la primavera, como método pasivo de defensa contra las heladas tardías, sino también como medio mecánico de control de malezas. Desde hace años, el uso de herbicidas se ha generalizado, pero esta práctica presenta cuestionamientos de orden ecológico dada su permanencia en suelos y aguas del sistema de desagües y freática.

La maleza es una competidora de la planta por agua y nutrientes. En plantas jóvenes, esta competencia es más importante y casi siempre el frutal pierde. En montes adultos, las malezas también compiten pero las consecuencias no son graves si se fertiliza correctamente y se dispone de agua. Tanto en plantaciones jóvenes como adultas, es conveniente combatir a la maleza en la zona de mayor densidad radical del frutal mediante prácticas culturales conservacionistas y al menor costo posible.

Como en toda práctica de manejo, se deben tener bien en claro los objetivos a seguir y las consecuencias que acarrearán las intervenciones en el cultivo. Para minimizar errores, es necesario conocer lo que ocurre en el sistema suelo-planta. En el caso concreto de los frutales, el manejo del suelo debe estar necesariamente condicionado a la modalidad de crecimiento de las raíces y a su distribución en el perfil edáfico.

## DISTRIBUCIÓN DE LAS RAÍCES EN EL SUELO

Las raíces de los frutales se extienden en forma radial y extensión variable, dependiendo del portainjerto y de la competencia intra o interespecífica. La profundidad hasta donde se desarrollan las raíces también es variable pero, en ausencia de limitantes edáficas que restrinjan la exploración de las raíces en el perfil del suelo como la napa freática, capas cementadas o de rodados, la distribución es más bien superficial, aun con portainjertos vigorosos. Aproximadamente el 80 % de las raíces se encuentran desarrolladas en los primeros 50 cm de suelo. En las plantaciones de alta densidad, la distribución y densidad de raíces se modifica aumentando en profundidad de no existir factores limitantes en el suelo.

## CRECIMIENTO DEL SISTEMA RADICAL

En general, el crecimiento de la raíz de los árboles frutales comienza antes que el crecimiento de la parte aérea, si bien este comportamiento puede diferir año a año. Se intensifica a inicios de la primavera, dependiendo del metabolismo de la planta y de las características del suelo. Comparado con el crecimiento vegetativo, las raíces siguen un curso menos definido y depende del manejo del frutal (Eissenstat *et al.*, 2006).

Los ápices radicales (raíces blancas) tienen la función de absorber nutrientes y agua y tienen corta vida, normalmente no más de 4 semanas. Las raíces que sobreviven más tiempo pierden su 'cortex' y sufren un engrosamiento secundario para pasar a formar parte de la estructura permanente del árbol. Si bien el frutal en condiciones normales nunca detiene el crecimiento radical, se produce otro pico intenso luego de la cosecha, cuando la disponibilidad de carbohidratos es mayor.

Es importante destacar el rol de las raíces en la producción de hormonas, principalmente citocininas y giberelinas que actúan modulando procesos metabólicos de la planta. Cualquier restricción o impedimento al crecimiento de las raíces, se traduce en el crecimiento de otras partes de la planta. En la práctica esto puede favorecer o limitar el vigor.

La manifestación natural de la planta en desarrollar su sistema radical, se puede ver impedido por las características del suelo (compactación, pH, sales, contenido de humedad, oxígeno, entre otros). Los suelos profundos, con buena porosidad y contenido de humedad cercano a la capacidad de campo, favorecen el desarrollo radical. Por el contrario, el estrés causado por exceso o falta de agua e impedimentos físicos del suelo, condiciona el crecimiento de las raíces y esto repercute en la parte aérea de la planta.

Se puede afirmar que una vez elegida la especie y el portainjerto para el tipo de suelo, se deben crear las condiciones para que las raíces se desarrollen sin inconvenientes. El manejo del suelo tiene un efecto definido sobre el desarrollo radical. Las opciones son varias pero una práctica incorrecta tendrá sus consecuencias en el futuro de la plantación. En un monte a implantar, el laboreo de suelo es una tarea obligada, en cambio en el monte adulto puede ser una práctica optativa. El correcto diagnóstico determina pautas a seguir en uno y otro caso.

## LABRANZA PREVIO A LA PLANTACIÓN

Se realiza con el fin de crear condiciones físicas favorables al desarrollo de las raíces y garantizar un drenaje eficiente del agua de riego. La profundidad de trabajo es muy importante y depende de la naturaleza del perfil del suelo y del portainjerto. Se deben hacer labores profundas y en direcciones cruzadas cuando existan capas que impidan el paso de las raíces, sean naturales o provengan del tránsito de montes anteriores. En la región del Alto Valle del Río Negro, las capas naturales se encuentran entre los 40 y los 80 cm. de profundidad y son de espesor variable. Normalmente se asocian a suelos de textura fina y carbonatos de calcio de diferente granulometría, que confiere distinta dureza a dichas capas. Por otro lado, las capas por compactación por labores y tránsito se forman a los 30 cm de profundidad aproximadamente.

## LABRANZA CONVENCIONAL EN MONTES EN PRODUCCIÓN

Se realiza a la salida del invierno y tiene como fin principal dejar el suelo libre de malezas y en condiciones de captar y acumular energía una vez regado. Este método de lucha pasiva contra las heladas tardías actúa negativamente en el sistema suelo-planta. Por una parte, se eliminan las raíces superficiales que alimentan a la planta desde la zona más rica del suelo y por otra parte los riegos sucesivos crean una escasez de oxígeno que dificulta la absorción de nutrientes y agua.

Más grave aún, se producen cambios microbiológicos importantes que modifican la biología del suelo y provocan un aumento de sustancias tóxicas para la raíz. También se incrementa la posibilidad de que agentes patógenos se multipliquen en el suelo y, valiéndose del estado de estrés de la planta, puedan atacar el sistema radical lastimado y causar daños importantes que en ocasiones pueden resultar irreversibles.

Existe otro efecto, no tan evidente pero que es igualmente perjudicial a largo plazo y es el causado por el paso de la maquinaria en el suelo húmedo. Los primeros tratamientos sanitarios en la primavera casi siempre se realizan sobre el suelo húmedo, causando compactaciones importantes que modifican la distribución de raíces en la zona del interfililar. Esto es importante en suelos con una importante fracción arcillosa. El suelo reacciona aumentando la densidad aparente y disminuyendo su porosidad, lo que ocasiona que raíces de ciertos portainjertos no puedan desarrollarse en ese medio. El EM9 es un ejemplo de portainjerto susceptible a estos cambios de densidad de suelo.

## COBERTURA PERMANENTE

La implantación de cultivos de coberturas en los interfilares mejora la fertilidad del suelo, en términos de materia orgánica, estructura, aireación y retención de nutrientes. Además las coberturas permanentes evitan la erosión y disminuyen la compactación del suelo por el paso del tractor y las maquinarias.

Por otra parte, las coberturas tienen su propio requerimiento de agua y nutrientes. En áreas donde la cantidad de agua de riego no es limitante, se puede optar por la cobertura permanente. El consumo de agua en este caso es un 20-30 % superior. La pastura debe ser cortada frecuentemente a efectos de que el consumo de agua no sea excesivo. Además la relación C/N de esa materia seca permite que se descomponga relativamente rápido y se reciclen nutrientes minerales. El aporte de materia orgánica no sólo es superficial, sino que las raíces aportan lo suyo al morir y regenerarse en profundidad. En consecuencia, el suelo se agrega e incrementa su porosidad, lo que favorece la infiltración y retención del agua. Esto es válido tanto para suelos arcillosos como arenosos.

La cobertura compite con el frutal por el nitrógeno y el agua. Si estos recursos son limitantes, es de esperar un efecto negativo de la pastura. Se ha demostrado que la cobertura permanente de gramíneas en un monte de manzano, tarde o temprano disminuye el rendimiento de fruta a la vez que mejora algunos parámetros de calidad, como lo son la coloración roja y el contenido de acidez (Horning y Bunemann, 1995a y 1995b). Esta baja de rendimiento, es consecuencia de una disminución del vigor de las plantas producto de la competencia con el cultivo de cobertura. Si bien este factor es manejable

desde el punto de vista nutricional, ofrece una opción importante de manejo del crecimiento vegetativo. El correcto manejo de la cobertura permite controlar el vigor del árbol frutal, especialmente en montes de alta densidad. Por ejemplo, en duraznero, donde es frecuente realizar podas en verde, el manejo de la cobertura permite controlar el vigor durante las primeras etapas de crecimiento del fruto. Una vez que el fruto alcanza el Estado III, se puede controlar la competencia y permitir su normal elongación sin ningún tipo de limitante (Huslig *et al.*, 1993). Además, los productos de fotosíntesis se derivan hacia los frutos y no hacia los brotes, por lo que el vigor de la planta estaría perfectamente controlado.

Otros estudios, también en duraznero, demostraron que al reducir el área libre de vegetación en la línea de plantación, disminuye el área seccional de tronco, el diámetro de la copa, la producción por planta y la cantidad de madera podada (Glenn *et al.*, 1996). Sin embargo, la eficiencia del cultivo (kg de fruta por cm<sup>2</sup> de área seccional de tronco) se mantiene o incluso puede aumentar como consecuencia de la mejor distribución de luz en la copa (Glenn y Welker, 1996). En definitiva, el obtener plantas de menor volumen de copa permite incrementar la densidad de plantación, por lo que no es de esperar una disminución en el rendimiento por hectárea.

En cambio, en plantas jóvenes, donde se busca completar el espacio asignado por el marco de plantación lo antes posible, debe tratarse de evitarse una competencia directa entre frutales jóvenes y las coberturas mediante herbicidas o labranzas en las proximidades de las plantas. Las gramíneas son particularmente ávidas por nitrógeno y poseen un agresivo sistema radical que compite favorablemente con el escaso desarrollo radical de un frutal en sus primeros dos años.

El efecto de la cobertura en el intercambio de calor entre el suelo y el aire también debe ser considerado si se tiene en cuenta que el manto herbáceo disminuye el pasaje de calor del suelo a la atmósfera. El sistema de cobertura permanente entraña un mayor riesgo de sufrir los efectos perjudiciales de las heladas tardías. Se desprende de ello que, si no se dispone de medios activos de defensa contra heladas, es aconsejable mantener el suelo libre de coberturas durante el período más crítico, que en la región del Alto Valle se sitúa durante el mes de septiembre y hasta el 15 de octubre.

Entre las especies que se emplean como cobertura permanente en el espacio interfilar se citan a las leguminosas, las gramíneas o a una mezcla de ellas. En el Cuadro 6.1 se enumeran algunas de las especies más utilizadas para este fin y sus principales características (Sozzi, 2007). Si se emplea una gramínea como la festuca (*Festuca arundinacea*), se deberá tener en cuenta su avidez por nitrógeno. Obviamente si se quiere conseguir un volumen importante de materia seca, será necesario fertilizar la pastura con una dosis baja de nitrógeno, mientras que si el suelo no es muy pobre puede dejarse sin fertilizar. Esto último ocurre en la mayoría de los casos.

Si se elige una leguminosa como la alfalfa (*Medicago sativa*) o los tréboles (*Trifolium repens*, *T. pratense*), se debe tener en cuenta que su necesidad de P y Ca es bastante alta. En consecuencia no es conveniente la siembra de una leguminosa en un suelo donde el sodio sea un constituyente importante del complejo de saturación de bases ya que potenciaría su presencia. En esos casos es conveniente la siembra de una gramínea y recuperar el suelo, al menos parcialmente, antes de implantar una leguminosa. Otra alternativa es la siembra de leguminosas con buen comportamiento en suelos salinos y salinos sódicos como los *Melilotus* (trébol de olor) o el *Trifolium fragiferum* (trébol frutilla).

**Cuadro 6.1.** Especies vegetales utilizadas como coberturas en montes frutales.

Especies	Establecimiento	Vigor	Duración	Uso de agua	Requerimiento N-P-K	C/N
<i>Festuca arundinacea</i>	Excelente	Elevado	Prolongada	Alto	50-60-40	50
<i>Festuca rubra</i>	Excelente	Bajo	Prolongada	Bajo	60-80-40	40
<i>Lolium multiflorum</i>	Excelente	Elevado	Corta	Medio	50-70-40	40
<i>Lolium perenne</i>	Excelente	Medio	Corta	Medio	60-80-40	30
<i>Poa pratense</i>	Bueno	Medio	Media	Medio	70-80-40	35
<i>Trifolium pratense</i>	Bueno	Elevado	Media	Alto	10-90-60	18
<i>Trifolium repens</i>	Excelente	Medio	Prolongada	Alto	10-80-60	16

Fuente: Sozzi, 2007.

## ENMIENDAS ORGÁNICAS: ESTIÉRCOLES Y ABONOS VERDES

La enmienda tiene la doble función de mejorar las propiedades físicas del suelo e incorporar nutrientes. Años atrás, el empleo de enmiendas orgánicas era habitual. La casi totalidad de los montes libres implantados en la región del Alto Valle del Río Negro habían sido cultivados sobre alfalfares, y el aporte de estiércoles era prácticamente la única vía de fertilización. Con la llegada de los fertilizantes químicos y la creciente mecanización de las labores, la utilización y disponibilidad de estiércol disminuyó sensiblemente. Los abonos verdes se abandonaron y la reposición de la materia orgánica del suelo quedó librada a la vegetación herbácea espontánea.

Los estiércoles más empleados en la zona son el caprino y la cama de pollo. La mayoría de estos estiércoles contienen paja u otro material de elevada relación C/N. En consecuencia, el proceso de descomposición puede requerir más N que el propio material que se emplea como cama. Los microorganismos usan el N de la orina y de las heces para multiplicarse y desarrollar su ciclo en el proceso de descomposición, que comienza en el mismo lugar y continúa durante el almacenaje para terminar en el suelo una vez aplicado.

El aporte de materia orgánica del estiércol es importante sólo si las aplicaciones son anuales y en gran cantidad. La mayor parte del carbono orgánico del estiércol es transformado a dióxido de carbono y sólo una mínima fracción pasa a formar compuestos orgánicos que estabilizan los agregados del suelo y el humus.

El aporte de nitrógeno es importante si el estiércol estuvo bien conservado y se evitieron pérdidas como amoníaco por volatilización. Un buen estiércol en la región puede alcanzar valores de N del 2 % sobre base seca. En este sentido, es posible incorporar 100 unidades de N con dosis de 5-8 toneladas por hectárea de estiércol seco pero, esta cantidad no logra un incremento importante en el contenido de materia orgánica del suelo. Las aplicaciones de estiércol en bajas dosis representan más un aporte químico que orgánico.

Merece un párrafo final la calidad del estiércol que se va a incorporar. Lamentablemente muchos de ellos tienen un pH muy elevado, producto de la liberación de amoníaco y sales. Cuando se aplica un estiércol de estas características a un cultivo adulto, el efecto de las sales con frecuencia puede pasar inadvertido. Mientras que si el estiércol es aplicado en el momento de plantación, puede derivar en la manifestación de síntomas de toxicidad y hasta la muerte de las plantas jóvenes.

Los abonos verdes son una excelente práctica de manejo cuando se la realiza convenientemente. Su objetivo principal es incrementar la materia orgánica del suelo, llevar a la superficie nutrientes asimilables y reducir pérdidas de nitrógeno por lavado (Neilsen *et al.*, 2014). En la práctica, no siempre se consiguen estos objetivos. En primer lugar, el incremento de materia orgánica puede llegar a ser nulo si lo que se incorpora es un material vegetal pobre en fibra, aunque en este caso la liberación de N es rápida y muy significativa. Por el contrario si lo que se incorpora es un material resistente a la descomposición, el aumento de materia orgánica es significativo pero no lo será la liberación de N.

Queda claro que la utilidad del abono verde depende entonces del objetivo particular que se persiga. En condiciones de un monte frutal implantado, la siembra de un abono verde luego de la cosecha puede, en función de cuán pronto llegue el invierno, aportar en la primavera siguiente un material orgánico muy joven y tierno con bajo porcentaje de fibra, hasta un material mucho más desarrollado y avanzado fenológicamente. En ambos casos las consecuencias nutricionales para los frutales son distintas. Mientras que en el primer caso se dispondrá de una alta concentración de nitratos al inicio de la primavera, en el segundo ocurrirá todo lo contrario.

Si el monte tiene un crecimiento equilibrado, el abrupto incremento de N, coincidente con el período de rápido crecimiento vegetativo, ocasionará sin duda una escapada de crecimiento que deberá controlarse mediante poda en verde o restringiendo el riego. Si por el contrario, se tratase de un monte con deficiencias de N, P o K y de bajo vigor, el aporte del abono verde en la primavera logrará estimular la fisiología de las plantas y mejorará su aspecto vegetativo en el corto plazo.

Siguiendo con el mismo ejemplo, si el abono verde se incorpora al suelo en un estado más avanzado de su crecimiento, donde la concentración de N es menor al 1,2 %; se producirá una inmovilización de N acompañada con utilización de nitratos del suelo, lo que limitará su disponibilidad y en consecuencia frenará el crecimiento vegetativo del frutal en la primavera.

Un factor importante en el proceso de descomposición del abono verde es la temperatura del suelo. Todas las reacciones químicas conducentes a la degradación de los vegetales se lleva a cabo por enzimas secretadas por microorganismos, los que a su vez varían su actividad metabólica en función de factores externos, siendo la temperatura el más importante. Cuando en la primavera se incorpora al suelo un abono verde rico en N, y la temperatura del suelo se sitúa por encima de la media para la época, se produce una rápida liberación de nitrógeno mineral. Es común observar en años con primaveras cálidas, un crecimiento de brotes muy acelerado. Este hecho, sumado al aporte de nitrógeno aplicado como fertilizante, provoca serios desequilibrios en las plantas frutales.

Otro aspecto interesante que resulta de la descomposición del abono verde por la actividad microbiana es la importante liberación de CO<sub>2</sub>, el cual sigue dos destinos: la



pérdida en forma de gas hacia la atmósfera y, la conversión en el suelo a ácido carbónico que provoca una disminución de pH. En suelos neutros y básicos la disminución de pH mejora la disponibilidad de fósforo y microelementos.

En montes implantados, el abono verde suele ser de corta duración, aunque puede manejarse con cortes e incorporarse al cabo de dos o tres temporadas. En este último caso, el abono verde actúa más como cobertura permanente y debe manejarse con herbicidas o desbrozadas continuas en la línea de plantación a efectos de que no compita por agua y nutrientes con el frutal.

En montes jóvenes, donde se desea incorporar materia orgánica, una alternativa válida la ofrecen el mijo (*Panicum miliaceum*) y el sorgo de escobas (*Sorghum spp.*). Ambos deben sembrarse al fin de la primavera y se pueden desbrozar a 20 cm cuando alcancen una altura que dificulte el paso de maquinaria. Trabajado de esta manera se puede incorporar al suelo al final del verano, un material vegetal voluminoso y también las semillas, que sirven para resembrar el cultivo en la primavera siguiente.

Respecto de la materia orgánica, los abonos verdes son una excelente fuente cuando se lo maneja correctamente. Para que un abono verde incorpore cantidades importantes de materia orgánica, el volumen de forraje a incorporar debe ser necesariamente elevado. Dicho en otras palabras, significa que se debe llegar con la pastura hasta que tenga un alto contenido de fibra y haya alcanzado su máximo desarrollo. En este momento se produce también una mayor incorporación de raíces en profundidad que al ser atacadas y degradadas por los microorganismos del suelo, liberan nutrientes y dejan canales de aire que favorecen la infiltración del agua de riego.

Los abonos verdes pueden sembrarse en cualquier época del año. Los que se siembran en febrero y marzo como leguminosas (vicia) y gramíneas como la avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*) y centeno (*Secale cereale*) deben ser incorporados en la primavera. Es fundamental que se siembre temprano para lograr un volumen de forraje óptimo en el mes de septiembre. En la práctica, salvo en montes jóvenes, la siembra se realiza luego de la cosecha y se incorpora en agosto. Esto no da el suficiente tiempo para que la pastura alcance un volumen significativo y un contenido alto en materia seca que permita mejorar el balance de carbono orgánico del suelo.

A fines de primavera, conviene sembrar mijo o sorgo de escobas que se pueden incorporar durante la formación del grano. Para lograr un mayor aprovechamiento del abono verde es conveniente que el suelo se encuentre en condiciones físicas tales que permitan el desarrollo radicular de la pastura. Si se detecta una capa compactada, esta debe romperse antes de sembrar, de lo contrario el impedimento al crecimiento de raíces limitará el crecimiento de las gramíneas y/o leguminosas. En este caso, obviamente, no se lograrán los efectos buscados con el abono verde.

## MANEJO DEL SUELO EN LA LÍNEAS DE PLANTACIÓN

### a) Mulching

Puede ser de plástico, fibras sintéticas, o de materiales vegetales. Se hace con el fin de limitar la competencia de la planta con las malezas. Modera la temperatura del suelo y contribuye a retener la humedad, y en consecuencia favorece la actividad microbiana y facilita la liberación de nutrientes.

El mulch orgánico o vegetal, depende de la disponibilidad de material para cumplir su función. En varias regiones frutícolas del mundo, se emplea viruta de madera como práctica de control de malezas la cual es efectiva cuando el espesor del mulch es de al menos 7,5 cm (Vosen, 1998). Una manera simple de lograr un mulch vegetal es a través de la incorporación del forraje de corte del interfilas. Si bien desde el punto de vista del control de malezas no sería totalmente efectivo, es indudable su efecto favorable en atemperar los cambios de temperatura del suelo, conservar la humedad edáfica e incrementar la materia orgánica en la zona de cobertura.

El mulch, es una herramienta muy efectiva tanto para manejo convencional, como orgánico de las plantaciones, especialmente cuando existen limitantes físicas de suelo. Ensayos en Río Negro, Argentina, con mulches de paja y aserrín en un monte de manzano bajo producción orgánica, resultaron muy efectivos en promover crecimiento vegetativo en un suelo arenoso y poco profundo. Los resultados se exponen en el Cuadro 6.2.

**Cuadro 6.2.** Efecto de mulches en el crecimiento vegetativo de manzanos orgánicos cvs. Red Delicious y Royal Gala.

Royal Gala/EM 26, edad 7 años.

Tratamiento	Longitud total de brotes (m)	Tiraje medio (m)
Paja	46,8 a	0,55 a
Aserrín	39,2 ab	0,27 bc
Testigo	32,6 b	0,39 b

Red Delicious/MM 111, edad 7 años.

Tratamiento	Longitud total de brotes (m)	Tiraje medio (m)
Paja	63,4 a	0,70 a
Aserrín	47,6 ab	0,60 bc
Testigo	41,4 b	0,44 b

En el caso del mulch plástico, es importante considerar algunas características, en especial el grosor y el color, para su utilización. Si el color del plástico es negro el control de malezas es total, en cambio el plástico transparente solo controla parcialmente el crecimiento de espontáneas. Es conveniente un espesor de 100 micrones para asegurar una durabilidad de 3 o 4 años en el suelo. Existen en el mercado numerosas marcas de mulches sintéticos, la mayoría de los cuales tienen inhibidores especiales de radiación ultravioleta que garantizan mayor durabilidad del material.

La colocación del mulch plástico en la plantación es crítica ya que el ancho de la franja depende del ancho de las filas y de la edad de la plantación. En montes recién implantados, el ancho mínimo debería ser de 30 centímetros y el máximo de 50 centímetros, a efectos de no entorpecer el riego en un sistema radical no muy desarrollado. Se debe tener sumo cuidado en que el suelo no sea salitroso y que la capa freática no esté demasiado alta. Estas condiciones favorecen la concentración salina debajo del plástico y perjudica a la joven planta. Si se dispone de riego por goteo, los goteros se localizan por debajo del mulch. En este caso, conviene que el ancho de la franja plástica sea mayor y permanezca de esta forma sin necesidad de ampliar la superficie de

cobertura. En cambio si el riego es por aspersión, el empleo del mulch plástico no es viable. En la actualidad existen en el mercado otros materiales que controlan las malezas, a la vez que permiten la infiltración del agua de riego.

### b) Control de malezas

El control de las malezas en la fila de plantación es necesario para evitar la competencia por agua y nutrientes, especialmente en plantas jóvenes. El control de las mismas el mismo puede realizarse en forma manual, mecánica o química. El método de control de malezas más utilizado es el químico, por medio de la aplicación de herbicidas. Se emplea esta técnica en la línea de plantación para reducir los costos y evitar el daño que pudiesen causar las herramientas de laboreo o desbrozadoras contra el tronco. La ausencia de vegetación reduce el consumo hídrico y también hace que el suelo acumule más calor. Por otro lado, la prolongada falta de cobertura verde lleva al empobrecimiento de materia orgánica y a la salinización en cuestión. No obstante, la ausencia de competencia de malezas determina una mayor disponibilidad de nutrientes para el frutal joven.

El sistema radical puede ser modificado con el método de manejo del suelo. Se observó que cuando se utiliza desmalezado químico en toda la superficie, el sistema radical se distribuye en forma homogénea, mientras que cuando se trabaja sobre la fila de los árboles, el sistema radical tiende a concentrarse sobre la franja trabajada, en la cual existe un acentuado proceso de absorción de nutrientes y una intensa renovación de raíces. Por otra parte, si el suelo se empobrece paulatinamente de materia orgánica en la franja tratada con herbicida, disminuye también su microflora. Hay algunos efectos que son directos como el causado por la simazina y atrazina que inhiben la acción de las bacterias nitrificadoras.

La elección del herbicida depende del tipo de malezas presentes y la edad de la plantación. En el Cuadro 6.3 se mencionan las malezas más comunes en la región del Alto Valle del Río Negro. De todas ellas, las malezas llamadas invasoras como "correhuela", "gramilla" y "sorgo de Alepo" son las más importantes y las que requieren tratamientos con herbicidas, porque no pueden eliminarse con labores manuales o mecánicas. Por el contrario, estas labores contribuyen a su difusión a través de órganos subterráneos (estolones y rizomas). También se da el caso de especies benéficas como el trébol blanco, por ejemplo, que pueden convertirse en malezas en estadios tempranos de la plantación de frutales.

La edad de la plantación es otro de los factores claves que determina qué herbicida puede utilizarse. Como ya se dijo, el control de malezas en los primeros años de la plantación es crítico para asegurar un óptimo crecimiento vegetativo. Aunque se pueden emplear herbicidas preemergentes como los derivados de la urea (Diuron, Linuron), en general se prefiere la aplicación de herbicidas de contacto. La aparición de malezas anuales durante la primavera y verano pueden controlarse con aplicaciones de Paraquat o mediante graminicidas selectivos, de ser necesario. Para el control de malezas perennes (*Cynodon dactylon*, *Convolvulus arvensis*, *Sorghum halepense*, etc.), son efectivas las aplicaciones de herbicidas sistémicos como el glifosato a principios del otoño. En caso de tener que recurrir a estos herbicidas sistémicos, es necesario utilizar pantallas para evitar el mojado del tronco de las jóvenes plantas. Para la plantación, no es aconsejable el uso de este herbicida durante los primeros tres años de vida del monte frutal.

Para la seguridad ambiental, es necesario realizar las aplicaciones dirigidas a las malezas, en las dosis indicadas y momentos de susceptibilidad de las mismas; ya que los excesos dirigidos al suelo, se acumulan en el mismo y/o percolan junto al agua de riego hacia los desagües y son arrastrados a destinos finales como el río o los lagos. En un relevamiento de presencia de plaguicidas en aguas que transitaban los suelos de las chacras de la región se encontró que, en las muestras realizadas, el 86 % de las detecciones se correspondían a glifosato y su metabolito.

**Cuadro 6.3.** Malezas más importantes en la región del Alto Valle del Río Negro.

Nombre común	Nombre científico
Abrojo chico	<i>Xanthium spinosum</i>
Achicoria	<i>Sonchus oleraceus</i>
Bolsa de pastor	<i>Capsella bursa-pastoris</i>
Cebadilla	<i>Bromus catharticus</i>
Cerraja	<i>Sonchus asper</i>
Chamico	<i>Datura ferox</i>
Cola de zorro	<i>Setaria spp</i>
Correhuela	<i>Convolvulus arvensis</i>
Diente de león	<i>Taraxacum officinale</i>
Gramilla	<i>Cynodon dactylon</i>
Lengua de vaca	<i>Rumex spp</i>
Llanten o siete venas	<i>Plantago major</i>
Morenita	<i>Kochia scoparia</i>
Mostacilla	<i>Sisymbrium irio</i>
Pasto de agua o pata de gallo	<i>Echinochloa crus-galli</i>
Quinoa	<i>Chenopodium album</i>
Rúcula	<i>Eruca sativa</i>
Rye grass	<i>Lolium multiflorum</i>
Sanguinaria	<i>Polygonum aviculare</i>
Sorgo de Alepo	<i>Sorghum halepense</i>
Trébol blanco	<i>Melilotus albus</i>
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>
Yuyo colorado	<i>Amaranthus spp</i>

Fuente: Guía de pulverizaciones para frutales de pepita y carozo. EEA Alto Valle.

Una guía práctica de tratamientos con herbicidas para el control de malezas anuales, bienales y perennes, se esquematiza en el Cuadro 6.4 que indica además el momento oportuno de aplicación y sugiere algunos de los tantos herbicidas que existen en el mercado.

Para evitar el desarrollo de tolerancias y resistencias en las malezas, es aconsejable combinar herbicidas con distintos modos de acción.

**Cuadro 6.4.** Guía de tratamientos con herbicidas.

Maleza	Momento	Herbicida	Dosis (L/ha)	Observaciones
Correhuela	Pimpollos florales ya formados	Glifosato	5	Pueden ser necesarias dos aplicaciones
		MCPA		
		Sulfosato		
		Glufosinato	4	
Gramilla	Rebrotos de 10-15 cm. de altura	Cletodim	1,2-1,4	Pueden ser necesarias dos aplicaciones
		Glifosato	5	
		Haloxifop Metil	1-1,25	
		Sethoxydin	4,5	
		Glufosinato	4	
Sorgo de alepo	Rebrotos de 20-40 cm. de altura	Cletodim	1,2-1,4	Glufosinato
		Fluazifop butil	1,5	
		Glifosato	5	
		Haloxifop Metil	0,5-0,75	
		Sethoxydin	3-3,5	
		Glufosinato	4	
Achicoria Cerraja Chamico Diente de león Pasto de agua	Utilizar como "guadaña química" cuando las plantas tienen 10-15 cm de altura.	Paraquat	4	Puede utilizarse en plantaciones menores de cuatro años.
		Glifosato	3-4	Usar protección para plantas menores de 5 años.
Quinoa Rye grass Siete venas Yuyo colorado	Preemergentes. Aplicar a la salida del invierno sobre suelo libre de malezas.	Indaziflam	0,2	No aplicar en plantaciones menores de 3 años.
		Diurón	2-3 Kg	No aplicar en duraznero.
		Linurón	3-4 Kg	

Fuente: Guía de pulverizaciones para frutales de pepita y carozo (2006-2007). EEA Alto Valle.

## LABRANZA

El implemento más utilizado como herramienta de labranza primaria en el Alto Valle del Río Negro es la rastra de discos de tiro excéntrico. Esta se caracteriza por dejar el suelo totalmente desnudo, lo que lo convierte en uno de los implementos preferidos por el productor para la lucha pasiva contra heladas. Debido a la falta de succión de este implemento, una de las características que debe tener para lograr la profundidad de trabajo deseada es un elevado peso por disco. Esta particularidad hace que la rastra favorezca la formación de capas densificadas por debajo de la profundidad de trabajo.

Otro implemento utilizado es el arado de cincel, con el concepto erróneo de que permite la realización de tareas profundas. La operación de esta herramienta con humedad de suelo superior a la óptima y trabajando por debajo de la profundidad crítica, trae aparejado la formación de sectores compactados hacia ambos lados del pasaje de la púa (C. Magdalena, comunicación personal). Por lo tanto, debe trabajarse con suelo seco y mayor velocidad para lograr descompactar como máximo, hasta los 25 centímetros. Algunos beneficios del empleo del cincel son que no desnivela el suelo como la rastra de discos y que no deja la superficie del suelo totalmente desnuda por ser una herramienta de labranza vertical.

El subsolador es otra herramienta de utilidad para romper capas compactadas y/o cementadas con carbonato de calcio. El uso del subsolador se debe fundamentar en hechos concretos basados en un estudio de suelo. En montes adultos conducidos en espaldera, el subsolador puede ejercer efectos no deseados como la eliminación de raíces estructurales que frenan el crecimiento de las plantas. El riesgo es menor si la operación se realiza a la salida del otoño o en el invierno. Por otro lado, en montes con conducción libre, la operación puede efectuarse fuera de la zona de puntales y haciéndolo coincidir con el área compactada por el paso de la maquinaria. En todos los casos, para que el trabajo sea efectivo, el subsolado también debe realizarse con condiciones de suelo seco en superficie y semiseco en la máxima profundidad. Se debe evitar el paso del subsolador en suelo a capacidad de campo y bajo ningún concepto, debería pasarse en suelos saturados de agua.

Un diente simple de subsolador convencional difícilmente supere una profundidad crítica de 30 centímetros; existen alternativas para mejorar esta profundidad crítica como realizar dos pasadas o montar dientes a distintas profundidades y distanciamientos para mejorar la interacción entre ellos. Si las capas de carbonato de calcio están a mayor profundidad, el subsolado pasa desapercibido. En montes a implantar, el subsolado profundo con maquinaria diseñada a tal fin es beneficioso, si se respeta lo dicho anteriormente en cuanto al contenido de humedad del suelo en el momento de realizar la labor.

## MANEJO DEL SUELO Y LA NUTRICIÓN EN MONTES ORGÁNICOS

Al no poder emplearse fertilizantes de síntesis, el manejo nutricional se centra en el manejo de la materia orgánica como proveedora de nutrientes, además del uso de fertilizantes orgánicos permitidos. Estos aspectos deben ir acompañados de una excelente gestión en el manejo del agua y de la reducción de toda competencia que pueda comprometer el desarrollo vegetativo y la producción de fruta.

De manera similar a lo que ocurre en la producción tradicional, el nutriente crítico en la nutrición orgánica es el nitrógeno. En la producción orgánica, el agravante es que la nutrición nitrogenada debe ser planificada a largo plazo porque el proceso de liberación de nitratos, aún a través de fertilizantes permitidos, es mucho más lento que en el caso de un fertilizante de síntesis. En la mayoría de las situaciones, el nitrógeno necesita ser agregado en forma anual, no solo por ser requerido en gran cantidad, sino que es uno de los elementos menos ricos en el suelo, principalmente en aquellos con bajo contenido de materia orgánica.

Las formas comunes de agregar N en los cultivos orgánicos son a través de aplicaciones de compost, estiércol o fertilizantes como la harina de sangre o plumas y, de las coberturas verdes con leguminosas.

Debido a que los compuestos orgánicos de N son de complejidad variable y que generalmente se encuentran en bajas concentraciones, necesitan pasar a aminoácidos y subsecuentemente mineralizarse a amonio y nitrato. El tiempo transcurrido entre la incorporación y la absorción mineral efectiva de la planta es más o menos prolongado, aún en las mejores condiciones de temperatura y humedad. Al respecto se deberá coordinar el momento oportuno de incorporación de la cobertura con el tiempo probable que requiera la mineralización, de tal forma que coincida con el período de activa absorción por parte de la planta. En la producción orgánica, no es aconsejable dejar en el suelo una alta concentración de nitratos en momentos de baja o nula absorción radical de los cultivos. Así como se contaminan aguas subterráneas por acción de los fertilizantes nitrogenados sintéticos, también existe contaminación cuando hay oxidación de la materia orgánica en asincronía con su inmediata utilización.

Erróneamente se piensa que el uso de fertilizantes de síntesis es el único responsable de la contaminación de las aguas subterráneas. Los nitratos que se liberan de la oxidación de la materia orgánica pueden constituir la principal vía de contaminación en situaciones donde existe por ejemplo, un otoño e invierno lluvioso y el nivel de materia orgánica del suelo es alto.

En la producción orgánica, el compost debe estar constituido por materiales aprobados. Se prefiere el compostado de los estiércoles con el fin de preservar los nutrientes y convertirlos en humus estable. El compostaje aeróbico (55-75 grados de temperatura) permite eliminar semillas de malezas, agentes patógenos y reducir los residuos de contaminantes químicos como los pesticidas. Cuando el objetivo es aportar nitrógeno más que materia orgánica, se prefiere un compost de alta concentración de N. El análisis, nos permite estimar la cantidad total que se aporta pero no dice nada de la disponibilidad en el tiempo de ese nitrógeno. La reglamentación del USDA establece que el compost debe tener una relación C/N entre 25-40/1 y que el tiempo de compostado deberá ser no inferior a los 3 días si la pila es estática o de 15 días si el compost es aireado en no menos de 5 oportunidades.

También se puede aplicar el estiércol estacionado, que es aquel que no ha sido compostado y que ha permanecido como tal por un espacio no menor a los 6 meses. No puede ser aplicado 90 días antes de la cosecha. Es permitido en programas como el del Estado de Washington en los EEUU, pero no en Argentina donde la legislación vigente establece que todo estiércol debe ser compostado, pero existen algunas excepciones. Por ejemplo, en aquellos lugares donde se dispone de fuente de estiércol de animales que se alimentan de pastizales naturales se puede considerar que naturalmente viven en un ambiente "orgánico" y no sería necesario compostar el estiércol. Sin embargo, la mayoría de las certificadoras exigen un análisis de ese material e imponen un límite en el aporte de nitrógeno.

Otros materiales que se pueden utilizar para el compostaje son los orujos resultantes de la industria de los jugos.

## CONSIDERACIONES FINALES

La adecuada elección de un sistema de manejo del suelo en el monte frutal es más complejo de lo que puede parecer. A las ventajas que presenta un tipo de manejo en ciertos aspectos, normalmente se contraponen determinadas desventajas. A ello se le agrega, que los ensayos de manejo de suelo suelen ser prolongados en el tiempo y los efectos sobre el suelo y las plantas no siempre son sencillos de evaluar.

Siendo los frutales cultivos de larga vida útil, el sistema elegido debe asegurar la preservación de la capacidad productiva del suelo a largo plazo. Desde esta óptica, son muchas las razones que hablan en favor del sistema de cobertura permanente. El suelo es un recurso no renovable, y las áreas bajo riego son susceptibles a la degradación física y química si no se adoptan medidas conservacionistas. Las limitantes puntuales de la posible competencia entre los frutales y las coberturas son técnicamente superables con distintas prácticas de manejo. De hecho, en la producción orgánica, las coberturas ya sean a base de pasturas perennes o anuales, son empleadas de manera habitual por sus efectos favorables en la conservación de los suelos, el reciclaje de la materia orgánica y el manejo de la biodiversidad.

### BIBLIOGRAFÍA

- EISSENSTAT, D.M.; BAUERLE, T.L.; COMAS, L.H.; LAKSO, A.N.; NEILSEN, D.; NEILSEN, G.H. & SMART, D.R. 2006. Seasonal patterns of root growth in relation to shoot phenology in grape and apple. *Acta horticulturae* 721: 21-26.
- GLENN, D.M.; W.V. WELKER, & G.M. GREENE. 1996. Sod competition in peach production: I. Managing sod proximity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: 666-669.
- GLENN, D.M. & W.V. WELKER. 1996. Sod competition in peach production. II. Establishment beneath mature trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121:670-675.
- HOLZMANN, R.; SHERIDAN, M.; DE GERÓNIMO, E.; APARICIO, V.; COSTA, J.L. 2017. Presence of glyphosate and AMPA in orchard soils and water in the upper Río Negro and Neuquén valley. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 19, EGU2017-2448, 2017. EGU General Assembly 2017.
- HORNIG, R. & G. BUNEMANN. 1995a. Alternative soil management and fertigation in apple orchards. *Erwerbsobstbau* 37 (6): 167-170.
- HORNIG, R. & G. BUNEMANN. 1995b. Ground covers and fertigation in apple orchards with integrated production. I. Growth, yield and fruit quality. *Gartenbauwissenschaft* 60 (6): 262-268.
- HUSLIG, S.M.; M.W. SMITH AND G.H. BRUSEWITZ. 1993. Irrigation schedules and annual rygrass as a grown cover to conserve water and control peach tree growth. *HortScience* 28:908-913.
- INTA ALTO VALLE. 2004. Guía de pulverizaciones para los cultivos de manzano, peral, frutales de carozo y vid. 132 pag.
- NEILSEN G.; FORGE T.; ANGERS D.; NEILSEN D. & HOGUE E. 2014. Suitable orchard floor management strategies in organic apple orchards that augment soil organic matter and maintain tree performance. *Plant & soil* 378: 325-335.
- SOZZI, G.O.; AGOSTINI, J.R.; FONFRIA, M.A.; ALEM, H.J.; ALTUBE, H.A.; ARJONA, C. & BORSCAK, J. 2007. Árboles frutales: Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Universidad de Buenos Aires, Argentina. Facultad de Agronomía.
- VOSEN, P. 1998. Coberturas vegetales y manejo de herbicidas. Curso Internacional de Fruticultura de Clima Templado Frío. Mendoza, Argentina, 16 al 20 de Junio de 1998.



*capítulo*

# 7

## DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL

## Consideraciones Generales

El manejo nutricional de los frutales, implica conocer a fondo la fisiología de las plantas e integrar conceptos de otras disciplinas como la bioquímica vegetal y la ciencia del suelo. Por tratarse de especies perennes, se deben compatibilizar los conocimientos con el manejo del monte frutal. Por ejemplo, una planta joven debe crecer mucho para ocupar el espacio asignado lo más rápido posible y necesita una dosis alta de N que es inhibitoria de la iniciación y el desarrollo floral. Este comportamiento diferencial, según la edad de la planta, requiere un conocimiento operativo profundo basado siempre en objetivos claros y simples.

El requerimiento nutricional de los frutales varía a lo largo del ciclo de crecimiento, a medida que los frutos cuajan, crecen, se desarrolla la canopia y finalmente cuando migran las reservas. Si bien en un principio se necesita de todos los minerales, la cantidad requerida es diferente según cada estado fenológico. Más que nutrir a la planta en su conjunto se debe nutrir a sus órganos en momentos específicos (Faust, 1989). Por ejemplo, el contenido de boro es crítico para el desarrollo de la flor y se necesita una concentración alta en un período muy corto de tiempo dado que su carencia puede afectar gravemente la producción de ese año. Más adelante el requerimiento de boro no es tan crítico.

Otro ejemplo es el cinc. El desarrollo inicial de la canopia requiere bastante cinc, que juega un rol importante en la fotosíntesis y en la expansión temprana de las hojas. Por ejemplo, en el manzano, el cuaje está directamente relacionado al área foliar del dardo y de su feminela, lo mismo que la nutrición de calcio del fruto.

Esta introducción intenta reflejar la importancia de conocer no sólo el papel de los nutrientes en la planta, sino también su dinámica de absorción y utilización en los diversos órganos (partición de los nutrientes). Para poder diagnosticar o evaluar correctamente el estado nutricional de un monte frutal, es necesario conocer la fisiología de la planta, el rol de los nutrientes, el requerimiento de la especie, la oferta de nutrientes y el estado del suelo en brindar un hábitat propicio para que la raíz cumpla sus funciones esenciales.

El diagnóstico nutricional representa el paso obligado que conduce a un programa de fertilización. Todo agregado de nutrientes al suelo o las hojas debe estar fundamentado en razones técnicas. Las herramientas con que se cuenta son variadas: desde la simple información que se extraiga del monte frutal como su crecimiento, vigor, producción, calidad de la fruta, hasta la información más sofisticada producto de los análisis de suelo y foliar. Un correcto diagnóstico, debe recurrir en ambos tipos de información.

Las tres reglas de rigor de un programa nutricional son las siguientes:

1. *El método de diagnóstico debe ser simple, barato y confiable.*
2. *Las recomendaciones deben ser -en lo posible- sencillas y realizables.*
3. *El resultado del programa debe ser visible en el corto plazo.*

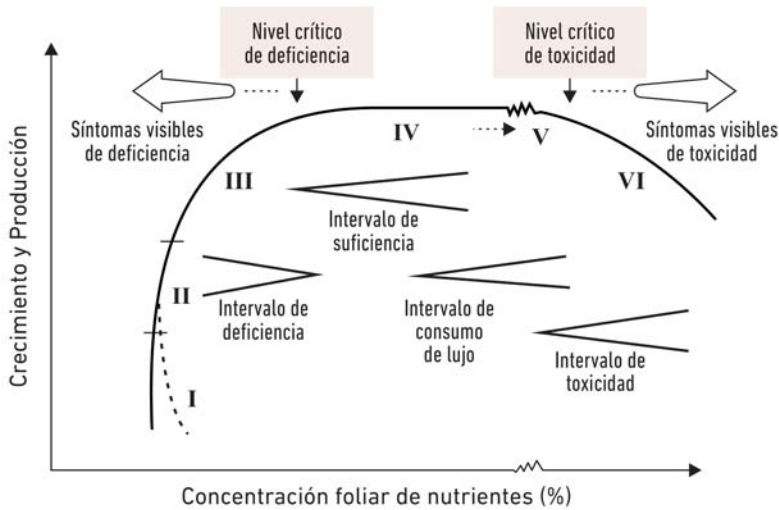
## DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE MONTES ADULTOS

### Análisis de Suelo y Foliar

El manejo nutricional de los montes adultos, debe realizarse teniendo como base fundamental los análisis de suelo, foliar y el conocimiento detallado del cuadro o parcela en cuestión. Es conveniente realizar un análisis de suelo al menos una vez cada tres años. En zonas bajo riego se debe evaluar el pH, la conductividad eléctrica (CE), la relación de adsorción de sodio (RAS) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Las sucesivas capas u horizontes que conforman el perfil del suelo y su marcada heterogeneidad, hacen que sea muy difícil interpretar los análisis de fertilidad. De cualquier manera, se puede contar con un estudio regional que cuantifique los contenidos de fósforo, potasio y microelementos disponibles en el suelo. El contenido de nitrógeno en climas áridos, es siempre reducido y el análisis del contenido de nitratos -por ejemplo- es de escaso valor, debido a variaciones asociadas a la frecuencia de los riegos.

La fertilidad del suelo se puede evaluar indirectamente a través del tejido vegetal, normalmente las hojas. Las raíces de la planta absorben los nutrientes disponibles en un volumen amplio de suelo, integrado por varias capas u horizontes. Esta aproximación al contenido nutricional del suelo debe ser cuidadosamente interpretada, porque no todos los valores que se encuentren debajo de lo considerado normal para la especie y variedad frutal indican una deficiencia del suelo. Por el contrario, lo más común es asociar estas deficiencias a condiciones de suelo que limitan la disponibilidad de nutrientes. Los casos más comunes en la práctica están representados por capas compactadas, napa freática alta, elevado contenido de carbonato de calcio, falta o exceso de riego, contenido salino elevado y enfermedades radicales causadas por *Phytophthora* o el ataque de nematodos.

Los análisis foliares permiten identificar carencias incipientes de nutrientes que, aún sin causar sintomatología específica, pueden limitar la producción y calidad de la fruta (Figura 7.1). Esta herramienta debe ser usada en conjunto con el análisis del estado vegetativo y productivo del monte frutal. Los análisis foliares se deben efectuar en lo posible todos los años y cada muestra no puede representar a una superficie mayor a las cuatro hectáreas, aun tratándose de montes homogéneos. De no ser posible el análisis anual por razones económicas, se recomienda al menos analizar el contenido de nitrógeno, y en forma bianual la totalidad de los nutrientes. Los valores tomados como ideales representan a aquellas plantas con crecimientos equilibrados, buena carga de fruta y de óptima calidad en el momento de la cosecha y posteriormente en el almacenamiento.



**Figura 7.1.** Curva de respuesta del crecimiento y producción del árbol frutal y los niveles de nutrientes en hoja (modificado de Marschner, 1995).

Una de las principales limitantes del análisis foliar es su correcta interpretación, porque niveles bajos no necesariamente implican un déficit. A pesar de esta dificultad, esta técnica es ampliamente reconocida en el mundo entero. Las técnicas de muestreo en lo referente a época, determinaciones analíticas y patrones nutricionales son coincidentes en su gran mayoría. A manera de ejemplo, en los Cuadros 7.1 y 7.3 se pueden apreciar los valores normales de nutrientes en hojas de frutales de pepita y carozo tomadas en verano según distintos laboratorios. Como se puede observar, las diferencias son menores y no suelen modificar los diagnósticos arribados.

Para la realización correcta del muestreo de hojas es necesario tener en cuenta los principales factores de variación de la composición mineral: posición de las hojas en los brotes y momento de la temporada. Se ha observado que las hojas basales de los brotes (las más viejas) presentan concentraciones más altas de aquellos nutrientes pocos móviles por floema, tales como el Ca, el Fe y el Mn. En tanto que las hojas más cercanas al ápice de crecimiento presentan mayores concentraciones de N, K, P y Mg. Es por esto importante respetar la consigna de muestreo; la cual, en el caso de frutales de pepita y carozo, corresponde a las hojas del tercio central de los brotes del año. La escasez de brotes en manzanos de crecimiento dardífero, lleva a muestrear hojas de dardos vegetativos, por lo cual estos cultivares suelen presentar concentraciones altas de Ca.

En tanto que el momento adecuado de muestreo ha sido establecido buscando el período de tiempo en el cual el flujo interno de nutrientes está equilibrado y se observa cierta estabilidad en el contenido mineral de las hojas. Usualmente esto ocurre una vez finalizada la fase de activo crecimiento de los brotes, entre 110 y 140 días después de plena floración (desde mediados de enero a mediados de febrero para el hemisferio sur). La época de realizar los análisis foliares depende del momento para el cual fueron

establecidos los estándares disponibles y el conocimiento que se tenga del cuadro o lote. En general, los análisis que se realizan en el verano reflejan bien el estado nutricional de la planta hasta ese momento y permiten la realización de algunas medidas correctivas luego de la cosecha. Específicamente, se pueden corregir deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio y boro (en el caso de las Rosáceas) pero no se podrán corregir deficiencias de elementos inmóviles como el cinc y el hierro por citar a los más críticos.

Una correcta interpretación de los análisis foliares basada en estándares regionales permite ajustar el manejo nutricional durante la temporada. Estas decisiones no sólo deben considerar los valores analíticos sino el estado de la planta en cuanto a su vigor y carga de fruta en ese momento. Obviamente, exigen la necesidad de contar con laboratorios confiables y la obtención del resultado de inmediato, ya que las variaciones en la concentración mineral fluctúan en cuestión de días cuando existe una alta demanda por parte de los frutos. El principal desafío consiste en relacionar estos valores con la respuesta del cultivo a la fertilización; por lo tanto, necesitan de validaciones a campo.

En la figura 7.2 se observa la concentración de los macronutrientes en hojas de manzano a lo largo de la temporada 2016-2017. El N, P y K presentan una curva descendente, más pronunciada para el nitrógeno. En tanto que el Ca presenta una curva ascendente, y el Mg presenta cierta estabilidad.

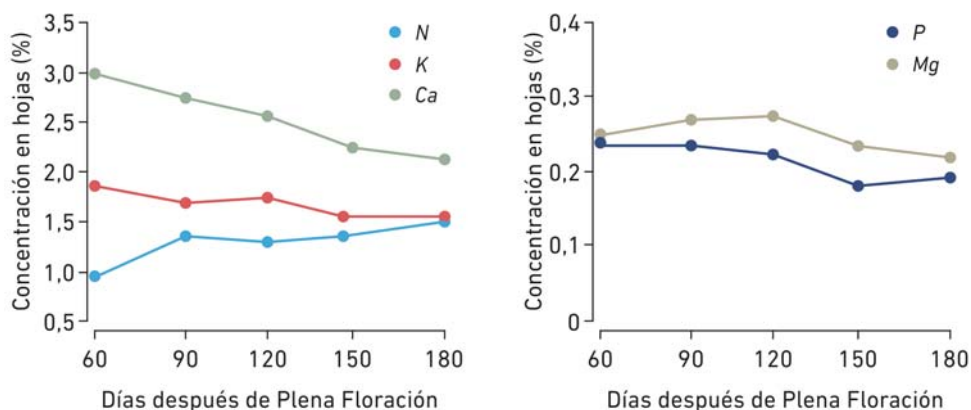


Figura 7.2. Concentración de macronutrientes en hojas de manzano a lo largo de la temporada.

En síntesis, los análisis foliares también se pueden realizar en primavera, lo que permite integrar las reservas de la planta y la absorción de nutrientes vía suelo hasta ese momento. Como se dijo anteriormente, la interpretación del análisis de primavera es más dificultosa porque las hojas se encuentran en activo crecimiento y los frutos comienzan a demandar azúcares y nutrientes para su propio crecimiento. Sin embargo, si los resultados se interpretan correctamente se pueden ajustar la dosis de nitrógeno y microelementos pero se llegaría tarde a corregir una deficiencia de potasio si es que no se cuenta con un sistema de fertirriego. Para confirmar el estado nutricional de la plantación se debería recurrir a un segundo muestreo en el verano. Para montes frutales en donde se desconozca el estado nutricional, es conveniente comenzar a recabar

información en la primavera para dar una idea aproximada del estado nutricional de los árboles, la que deberá confirmarse con un análisis foliar en verano. Para montes estabilizados, el análisis de verano suele ser suficiente.

### Estándares Nutricionales en los Principales Cultivos Frutales

Los patrones o estándares nutricionales (valores tomados como normales, deficientes y excesos) se originaron en su mayoría en la década del 60 para los distintos cultivos frutales en los Estados Unidos. Con el correr de los años, y aún con los cambios en los sistemas de plantación y las variedades, todavía hoy se utilizan como referencia. Debido a que la metodología de muestreo y análisis son coincidentes y que los nutrientes cumplen un rol específico en las plantas es de esperarse que los rangos de concentración de nutrientes considerados normales sean también similares. Si se comparan los rangos de concentración considerados normales en las diversas regiones frutícolas y para cualquiera de las especies frutales, se podrá verificar que existe una general coincidencia incluso entre especies. Si bien es cierto que en general el rango de concentración de nutrientes considerado normal difiere muy poco, es importante establecer patrones locales para cada región para tener mayor seguridad en el diagnóstico y posterior recomendación del manejo nutricional.

Los siguientes cuadros, pretenden informar al lector sobre aquellos valores considerados normales para el desempeño adecuado de los distintos cultivos frutales. En general, se muestran los valores de referencia de varios laboratorios con el fin de aportar mayor información, y los patrones locales en los casos en los que se cuenta con ellos. No es el motivo de esta exposición ahondar en las diversas fuentes de información, sin embargo, una síntesis ejecutiva resulta apropiada. En algunos casos, se señala algún concepto de interés práctico y se detalla la metodología como en el caso de la uva de mesa.

Cuando los valores normales se establecen para la especie, sin considerar a las variedades, los rangos de suficiencia se mantienen más o menos constantes para la mayoría de los elementos, con excepción del nitrógeno. Como se puede observar en el Cuadro 7.1, Jones *et al.* (1991) consideran como rangos normales de nitrógeno a 1,9-2,6 % y 2,2 - 2,8 %, para manzanos y perales respectivamente. En estos casos, la interpretación es mucho más superficial y no se ajusta a la realidad de producir fruta de calidad. Un manzano cv. Golden Delicious puede tener una concentración de N en las hojas de 2,6 %; sin embargo, la calidad de la fruta en lo que se refiere a color y conservación distará mucho de ser ideal. Lo mismo se puede afirmar en el caso de una pera cv. D'Anjou con una concentración de nitrógeno en las hojas en el verano de 2,8 %. En peral y manzano los estándares nutricionales deben ser más específicos (Cuadro 7.2).

**Cuadro 7.1.** Concentración de macro y microelementos en hojas medias del brote del año considerado normal para frutales de pepita.

### Manzanos

N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cita
1,9-2,6	0,13-0,45	1,2-2,0	1,1-2,2	0,24-0,50	50-250	30-100	30-60	20-60	5-15	1
1,9-2,6	0,14-0,40	1,5-2,0	1,2-1,6	0,25-0,40	50-300	25-200	25-50	20-100	6-50	2
2,0-2,9	0,10-0,30	1,2-2,0	0,9-2,2	0,25-0,47	100-300	18-200	28-70	18-50	4-17	3
2,1-2,8	0,16-0,28	1,2-1,8	1,2-2,0	0,20-0,40	40-100	20-100	20-45	15-150	>5	4

### Perales

N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cita
2,1-2,5	0,13-0,45	1,2-2,0	1,1-2,5	0,24-0,50	50-250	30-200	30-60	18-60	5-15	1
2,2-2,8	0,11-0,25	1,0-2,0	1,0-1,5	0,25-0,50	60-250	30-100	20-70	25-200	5-20	2
2,0-2,8	0,16-0,28	1,2-1,8	1,2-2,2	0,20-0,40	40-120	15-100	15-30	10-100	>5	4

1. NTA EEA Alto Valle (Argentina) / 2. Jones *et al.*, 1991 (Estados Unidos) / 3. Silva y Rodríguez, 1995 (Chile) / 4. Tagliavini *et al.* 2012 (Italia).

**Cuadro 7.2.** Valores adecuados de concentración de nitrógeno en hojas medias del brote del año para los principales cultivares de manzano y peral muestreadas a mediados del verano. INTA EEA Alto Valle.

Especie frutal	Variedad	N (%)
Manzanos	Red estándar	2,0-2,4
	Red tipo Spur	2,3-2,6
	Granny Smith	1,9-2,3
	Royal Gala	2,0-2,4
Perales	Williams Bon Cretien	2,2-2,5
	Beurre D` Ánjou	2,1-2,3
	Packhams Triumph	2,1-2,5
	Abate fetel	2,1-2,4

En el Cuadro 7.3 se representan los estándares nutricionales para duraznero, ciruelo, cerezo y damasco para plantaciones cuyo destino de la fruta es consumo en fresco. En el caso de plantaciones de fruta que se destina a la industria del enlatado, los niveles de nitrógeno son un poco más elevados, por ejemplo en el caso de damasco son del orden de 2,5-3,0 %. En general aquellas variedades tanto de pepita como de carozo destinadas a la industria permiten mayor flexibilidad en el manejo del nitrógeno a la vez que se asegura un buen rendimiento.

**Cuadro 7.3.** Concentración de macro y microelementos en hojas medias del brote del año considerado normales para frutales de carozo.**Duraznero**

N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cita
2,8-3,5	0,19-0,40	1,3-3,0	1,1-3,0	0,24-0,60	-	30-150	30-70	20-60	5-20	1
3,0-3,5	0,14-0,25	2,0-3,0	1,8-2,7	0,30-0,80	100-250	40-160	20-60	20-50	5-16	2
2,4-3,5	0,20	1,2	1,5	0,25	30	20	30-80	20	4	3
2,6-3,6	0,18-0,30	2,0-3,5	1,8-3,3	0,40-0,65	50-120	10-60	22-45	10-50	>5	5

**Ciruelo**

N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cita
2,3-2,8	0,19-0,40	1,3-3,0	1,1-3,0	0,24-0,60	-	30-150	30-70	20-60	5-20	1
3,0-3,5	0,14-0,25	1,6-3,0	1,5-3,0	0,30-0,80	100-250	40-160	25-60	20-50	6-16	2
2,3-2,9	0,20	1,6	1,5	0,25	120	20	20-80	20	4	3
2,2-3,2	0,18-0,35	2,2-3,5	1,2-2,5	0,30-0,60	50-200	25-100	25-60	25-100	>5	5

**Cerezo**

N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cita
2,2-2,6	0,19-0,40	1,3-2,0	1,1-2,5	0,24-0,60	-	50-100	30-75	20-60	5-20	1
2,1-3,0	0,16-0,50	2,5-3,0	2,0-3,0	0,30-0,80	100-250	40-200	20-100	20-50	5-50	2
2,2-2,6	0,20	1,6	1,5	0,30	50	20	30-70	30	4	3
1,9-2,5	0,18-0,37	1,0-2,0	1,8-3,2	0,42-0,70	40-110	15-75	32-63	15-60	>5	5

**Damasco**

N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cita
2,0-2,5	0,13-0,35	2,5-3,0	1,6-2,5	0,30-1,20	-	25-100	25-70	20-100	5-25	2
2,0-2,5	0,10-0,30	2,0-2,5	>2,0	-	-	>20	20-70	> 16	> 4	4
2,2-3,2	0,18-0,35	2,0-3,2	1,2-3,5	0,30-0,65	60-200	30-100	20-60	15-50	>5	5

1. NTA EEA Alto Valle (Argentina) / 2. Jones *et al.*, 1991 (Estados Unidos) / 3. Silva y Rodríguez, 1995 (Chile) / 4. Uriu, 1995 (Estados Unidos) / 5. Tagliavini *et al.* 2012 (Italia).



Dentro de los frutos secos, merecen consideración el nogal y el almendro (Cuadro 7.4). Como puede apreciarse, los valores estándar de nutrientes son similares, especialmente en el caso de los macroelementos. El laboratorio de análisis foliar de la Universidad Católica de Chile es más exigente en cuanto a los microelementos. El nogal es una especie muy sensible a la toxicidad por boro, por lo cual se determinó que concentraciones mayores a las 200 ppm son perjudiciales.

**Cuadro 7.4.** Concentraciones normales de macro y micronutrientes para hojas de árboles de frutos secos a mediados del verano.

### Nogal\*

N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cita
2,5-3,3	0,12-0,30	1,2-3,0	> 1,0	0,30-1,0	-	30-300	35-100	22-25	4-20	1
2,5-3,2	0,20	1,0	1,5	0,30	50	30	50-200	30	5	2
2,3-2,8	0,12-0,30	1,2-2,0	1,0-2,5	0,24-1,00	50-400	25-200	90-100	18-100	4-50	4

### Almendro

N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cita
2,2-2,5	0,10-0,30	>1,4	> 2,0	>0,25	-	>20	30-60	>18	>4	1
2,5-2,7	0,20	1,4	2,0	0,25	120	40	30-70	30	5	2
2,4-3,0	0,12-0,30	1,5-3,0	1,0-2,5	0,50-1,00	-	75-200	35-80	25-100	10-50	4

### Avellano

N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Cita
2,2-2,5	0,12-0,30	1,8-2,0	1,0-2,5	0,24-1,00	50-400	25-200	35-80	18-100	4-50	3
2,2-2,5	0,12-0,30	0,7-2,0	1,0-2,5	0,24-1,00	50-400	25-200	35-80	18-100	4-50	4

\*Hojas de máxima expansión reciente

1. Jones et al., 1991 (Estados Unidos) / 2. Silva y Rodríguez, 1995 (Chile) / 3. Beutel *et al.* 1983 (Estados Unidos) / 4. Westwood, 1982 (Estados Unidos).

La vid ha sido una de las especies más estudiada en cuanto a sus rangos de suficiencia nutricional. De todos los frutales de hojas caduca, es la que más secciones de la planta se toma para muestreo (peciolo, limbo u hoja completa). Los tejidos se pueden analizar tanto en floración como en el envero. En cuanto al nitrógeno se puede determinar tanto su contenido total o los nitratos, y en el otoño se puede analizar el nivel de reservas en los sarmientos y raíces en la forma del aminoácido arginina. Para cada uno de los tejidos muestreados y la época de análisis, existen puntos a favor y en contra. Algunos nutrientes se expresan mejor en el peciolo que en la hoja completa, para otros

ocurre al revés. Lo cierto es que se debe buscar un equilibrio, a efectos de hacer sencillo el diagnóstico. El sistema de análisis del peciolo tiene su base fundamental en la escuela californiana, al igual que el análisis de reservas. La escuela europea, enfatiza más el análisis de hojas.

En cada región se puede adoptar el mejor sistema de diagnóstico que se estime de mayor utilidad, siempre y cuando los análisis no sobrepasen la capacidad de interpretación del técnico. En el INTA Alto Valle, los estándares nutricionales en uva de mesa se realizan, por una cuestión de practicidad, analizando la hoja completa (peciolo y limbo) opuesta al primer racimo en el momento de la floración (Cuadro 7.5). Es importante tener en cuenta al momento de realizar los muestreos que la concentración mineral de las hojas está directamente influenciada por su actividad metabólica. La luz es el principal estímulo que desencadena procesos fisiológicos. Si la hoja a muestrear está a plena luz su concentración mineral será siempre mayor a otra que esté la mayor parte del día con baja exposición a la radiación solar. En la floración la mayoría de las hojas en la canopia de la vid están expuestas a la luz, no así en el envero, donde si se extraen hojas de lugares sombreados, los resultados darán lugar a una incorrecta interpretación.

El análisis en floración tiene valor de diagnóstico para todos los nutrientes, además, al realizarse temprano permite corregir -mediante fertilización- el nitrógeno y los microelementos. Mientras que el nitrógeno se puede aplicar por suelo, los elementos menores pueden corregirse en forma foliar. Si se cuenta con fertirriego, la fertilización con fósforo, potasio y magnesio es igualmente posible.

Los análisis de arginina son válidos, siempre que exista una correlación local entre ésta y la calidad de la brotación en la temporada siguiente. Sin embargo, el vigor de la planta y el contenido de nitrógeno de las hojas, aun en floración, permiten suponer con mínimo margen de error el nivel de reservas de la planta.

Al igual de lo que sucede en perales y manzanos, es posible afinar el diagnóstico para nitrógeno en algunas variedades en donde un leve exceso en la concentración de nitrógeno foliar es causal de un desorden fisiológico conocido como “palo negro”, relacionado con una intoxicación por el ion amonio. El nombre proviene de la sintomatología observada en el raquis de los racimos.

**Cuadro 7.5.** Valores normales de concentración de nutrientes en uva de mesa para hoja completa o peciolo en distintos momentos de muestreo.

Nutriente	Peciolo en floración 1	Hoja en floración 2	Hoja en envero 3
Nitrógeno (%)	0,8-1,2	3,0-4,0	1,6-2,9
Fosforo (%)	> 0,25	0,22-0,50	0,10-0,21
Potasio (%)	1,5-3,5	0,9-1,4	0,8-1,4
Calcio (%)	1,5-2,5	1,8-2,3	2,4-4,2
Magnesio (%)	0,3-0,6	0,3-0,6	0,2-0,6
Hierro (ppm)	-	-	60-190
Manganeso (ppm)	30-150	80-200	40-180
Boro (ppm)	-	30-50	20-60
Cinc (ppm)	30-70	30-60	15-60
Cobre (ppm)	4-25	15-30	>5

1. Silva y Rodriguez, 1995 (Chile) / 2. INTA Alto Valle (Argentina) / 3. Tagliavini et al. 2012 (Italia).

En el Cuadro 7.6 se representan los estándares nutricionales para el kiwi utilizados en distintos países productivos. Como puede observarse, los valores estándar de macronutrientes son similares para este cultivo. Al igual que en el caso del nogal, el laboratorio de análisis foliar de la Universidad Católica de Chile es más exigente en cuanto a la concentración óptima de calcio y especialmente microelementos.

**Cuadro 7.6.** Valores de concentración de macro y micronutrientes considerados normales en hojas de kiwi.

Nutriente	Chile <sup>1</sup>	Argentina <sup>2</sup>	Italia <sup>3</sup>
Nitrógeno (%)	2,2-2,8	2,2-2,8	1,9-3,0
Fosforo (%)	0,18-0,22	0,15-0,30	0,16-0,35
Potasio (%)	1,8-2,5	1,5-2,5	1,1-2,7
Calcio (%)	3,0-3,5	1,5-3,0	2,3-4,3
Magnesio (%)	0,3-0,4	0,25-0,35	0,3-0,6
Hierro (ppm)	80-200	-	40-150
Manganeso (ppm)	50-100	20-40	15-100
Boro (ppm)	40-50	30-60	18-60
Cinc (ppm)	15-30	15-30	15-50
Cobre (ppm)	10-15	4-10	>5

1. Sale, 1988 / 2. Yommi *et al.*, 2018 / 3. Tagliavini *et al.*, 2012.

### Interpretación de los Análisis Foliare

Como se mencionó anteriormente, es imprescindible interpretar los resultados de los análisis foliares, teniendo en cuenta el crecimiento y producción del monte frutal. Por ejemplo, un monte frutal con una fertilización excesiva con nitrógeno puede presentar valores bajos en la concentración en hojas porque este nutriente puede estar diluido en los vigorosos crecimientos vegetativos.

Otra dificultad en la interpretación de los análisis foliares radica en que los resultados se expresan en términos de concentración en base al peso seco de las hojas y no de cantidad en función de la biomasa de hojas y su equilibrio con los frutos. Valores bajos de concentración pueden indicar deficiencia o normalidad de manera indistinta. Por esta razón es importante conocer el monte frutal y cotejar el análisis con la "lectura de la planta".

Estudios realizados en el Alto Valle de Río Negro en 37 plantaciones de perales determinaron que el rendimiento se correlaciona negativamente con el peso específico de la hoja expresado en mg/cm<sup>2</sup>. Mayores rindes se corresponden con hojas más finas debido a la partición de fotoasimilados con preferencia a frutos en desmedro de otros órganos de la planta. En consecuencia, cuando se expresa la cantidad de nutrientes por unidad de área foliar, surge claramente que existe una correlación negativa con el rendimiento. En otras palabras, dos hojas con similar concentración pueden tener diferente cantidad de nutrientes dependiendo de su peso específico. Como se visualiza en cuadro 7.7, el rango de concentración media en perales cv. Williams es mayor que para Pac-kham's, pero cuando los resultados se expresan en términos de cantidad de nutriente

por unidad de área foliar los valores son similares al tener Packham's mayor peso específico de la hoja (Cuadro 7.8). Esta variable puede utilizarse como una herramienta simple y barata de diagnóstico.

**Cuadro 7.7.** Intervalos de confianza para el peso específico y concentración mineral de las hojas en los cultivares de perales Williams, Packham's y D'Anjou.

Variables	Williams	Packham's	D'Anjou
Peso específico (mg/cm <sup>2</sup> )	10,1 – 10,9	11,6 – 12,8	8,7 – 10,3
Nitrógeno (%)	2,20 – 2,33	2,04 – 2,17	1,84 – 2,08
Fósforo (%)	0,16 – 0,18	0,15 – 0,17	0,13 – 0,16
Potasio (%)	1,08 – 1,26	1,13 – 1,35	1,19 – 1,49
Calcio (%)	1,95 – 2,12	1,89 – 2,11	2,00 – 2,80
Magnesio (ppm)	0,29 – 0,32	0,27 – 0,30	0,31 – 0,37
Manganeso (ppm)	29,5 – 38,7	27,5 – 36,4	33,3 – 47,2
Boro (ppm)	27,1 – 30,5	24,0 – 26,5	26,0 – 36,4
Cobre (ppm)	7,50 – 8,30	7,20 – 8,70	6,90 – 9,70
Cinc (ppm)	16,9 – 23,7	15,1 – 23,8	11,3 – 32,4

**Cuadro 7.8.** Intervalos de confianza de la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio expresado por unidad de área foliar (mg/cm<sup>2</sup>) en los cultivares de perales Williams, Packham's y D'Anjou.

Nutriente	Williams	Packham's	D'Anjou
Nitrógeno	0,23 – 0,25	0,24 – 0,27	0,17 – 0,20
Fósforo	0,017 – 0,018	0,019 – 0,021	0,013 – 0,015
Potasio	0,12 – 0,13	0,14 – 0,16	0,12 – 0,14

En efecto, a excepción del nitrógeno, el resto de los minerales presentan rangos parecidos no sólo en las diversas regiones sino también en diferentes especies y variedades. El nitrógeno es un elemento muy particular. Las hojas de duraznero presentan mayor concentración que las hojas de ciruelo, manzano, peral o cerezo. Es considerado un elemento determinante de la calidad, de allí que existan concentraciones ideales diferentes para cultivares dentro de una misma especie. Por ejemplo, una concentración de 2,4 % en Golden Delicious es perjudicial para obtener buena calidad de fruta, mientras que en Red Chief es un valor normal. Lo mismo sucede en peral donde un valor de 2,3 % es alto para D'Anjou y normal para Williams o Packham's.

En el caso del fósforo, las plantas productivas presentan valores de concentración tan bajos como 0,13 % en forma reiterada. Es probable que, en ciertas variedades de manzano, se requiera una nutrición fosforada con el fin de mejorar la calidad de la fruta. En montes frutales de Río Negro, si se basa en los rangos de suficiencia para el fósforo, la mayoría de los montes debieran fertilizarse; sin embargo, no existe respuesta a fósforo cuando el sistema radical es sano y explora un gran volumen de suelo.

Con frecuencia la toma de muestras se realiza en plantaciones que han recibido fertilizaciones foliares con metales pesados. Lamentablemente en estos casos, el análisis carece de valor para estos microelementos ya que las hojas se contaminan al quedar retenido el fertilizante en la cutícula sin pasar al espacio interior de la hoja. A pesar de lavar el material foliar con agua y detergente, solo se consigue remover la porción libre pero no aquella retenida. Cuando se trata de Fe o Zn, que son elementos inmóviles, lo absorbido suele quedar en la hoja. Como resultado de estos dos procesos es común observar en el análisis valores extremadamente altos que no reflejan el estado nutricional de la planta en su integridad. Para graficar el concepto, es posible simular los posibles resultados de un análisis foliar de cinc donde la concentración de las hojas nuevas sin tratar es de 15 ppm, mientras que las hojas más viejas que recibieron la aplicación del fertilizante foliar tienen una concentración de 200 ppm (Cuadro 7.9). Así, con que tan sólo dos hojas de una muestra de 50 hojas hayan recibido la aplicación, es posible esperar un valor de 22 ppm, que podría considerarse adecuado, pero no refleja la condición general del cultivo.

**Cuadro 7.9.** Simulación de la concentración de cinc en una muestra de 50 hojas provenientes de un monte fertilizado según el número de hojas pulverizadas, las cuales se asume que tienen una concentración de 200 ppm.

Hojas sin tratar	Hojas tratadas	Zn (ppm)
50	0	15,0
49	1	18,7
48	2	22,4
45	5	33,5
40	10	52,0

Otra aproximación en la interpretación de los análisis foliares para un correcto diagnóstico surgió en la década del ochenta basado en la relación entre nutrientes. Esta forma de análisis se denominó el DRIS (traducido del inglés, Sistema Integral de Diagnóstico y Recomendación) pero lamentablemente no dio un buen resultado en los frutales debido a que rangos muy amplios no reflejan un comportamiento nutricional. Por ejemplo, una planta de manzano puede funcionar a la perfección tanto con una relación N/P de 8 como de 20. Los microelementos que se mueven dentro de rangos amplios (Zn de 20 a 80 ppm, o Mn de 30 a 200 ppm) establecen también relaciones amplias.

## Síntomas Visuales

Para el especialista, la observación visual es una herramienta muy poderosa. De ninguna manera suplanta a los análisis de suelo y de hojas, pero orienta mucho el diagnóstico. La observación de las plantas permite al menos extraer tres conclusiones muy obvias:

- 1) *Los árboles están equilibrados.*
- 2) *Los árboles presentan un vigor menor al óptimo para la variedad.*
- 3) *Los árboles presentan un vigor excesivo.*

Dentro de esta marcada obviedad, se pueden obtener conclusiones muy valiosas. Frente al equilibrio de las plantas, los análisis foliares son deseables para prevenir futuros cambios. Si la planta no posee el vigor deseado, los causales pueden ser de manejo o estar en el suelo y en este caso se orienta el diagnóstico. Si por el contrario, se trata de un exceso de vigor, se pueden realizar ajustes de fertilización nitrogenada o riego sin necesidad de recurrir a un análisis foliar.

Sin duda lo que más atrae en la sintomatología visual, es el hecho de poder identificar alguna deficiencia. Aunque el ojo experto del especialista identifique con certeza algunas, seguramente tendrá la duda de otras que se pueden enmascarar. En estos casos, siempre es aconsejable realizar análisis foliares y de suelo.

Partiendo de montes equilibrados y efectuando los chequeos de rigor con la técnica de análisis foliar, es prácticamente imposible encontrar deficiencias que se puedan apreciar visualmente. Por lo general, los síntomas de deficiencia se dan en montes no fertilizados o fertilizados sin un previo diagnóstico nutricional. De cualquier manera, siempre es muy útil conocer los síntomas que provocan cada uno de los nutrientes. En la figura 7.3 se encuentra un diagrama con los principales síntomas de deficiencias nutricionales. En términos generales, si el nutriente tiene buena movilidad en la planta (N, P, K, Mg) los síntomas se observarán en las hojas más viejas (basales). Mientras que en aquellos nutrientes con movilidad reducida se observarán en las hojas más nuevas.

En las fotos 1-6 (al final del capítulo) se ilustran los síntomas de deficiencia de la mayoría de los nutrientes en diversas especies frutales. A pesar de que la hoja de un nogal es muy distinta a la de un ciruelo, los síntomas son idénticos para el mismo nutriente. Por lo tanto, basta familiarizarse con la manifestación visual de la deficiencia de cada uno de ellos para poder extenderlos a cualquiera de las especies conocidas, sean éstas frutales o no.

Vale aclarar que la sintomatología visual representa la última etapa de la deficiencia. Por ejemplo, las pequeñas hojas "arrosetadas" causadas por una deficiencia de cinc, representan un estado final que comenzó con una menor fotosíntesis y pérdida de área foliar, la que lentamente continuó con el incremento de la relación largo/ancho de la hoja. Mientras que una hoja normal tiene una concentración mayor a las 15-16 ppm de Zn, una hoja con síntomas de deficiencia tiene una concentración del orden de las 7-8 ppm. Entre el valor mínimo y máximo hay un estado intermedio que es posible detectar visualmente, pero que se debe confirmar con un análisis foliar. Si la planta manifiesta síntomas de deficiencia de cinc, es probable que también se encuentre en valores bajos de manganeso, razón por la cual el análisis foliar es el único capaz de establecer lo que está ocurriendo en la planta en ese momento.

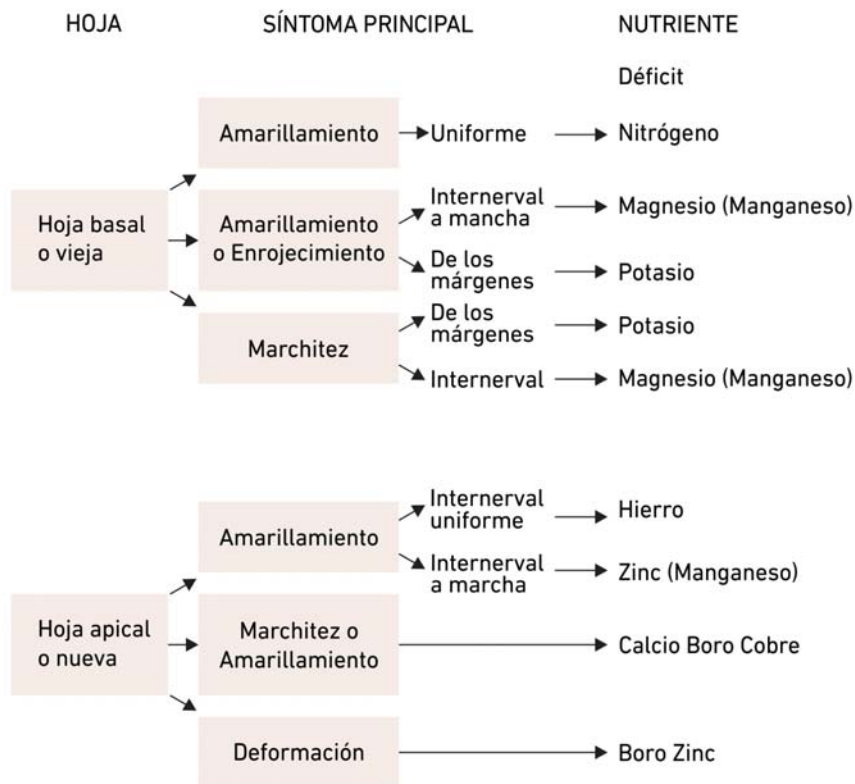


Figura 7.3. Cuadro de síntomas de carencia de nutrientes (Tagliavini *et al.*, 2012).

Las fotografías aéreas y satelitales son técnicas que permiten visualizar sectores diferentes de la plantación. A menudo estos sectores se relacionan con problemas de suelo o nutricionales como se ilustra en la foto 7 (al final del capítulo). Desde el punto de vista de diagnóstico conviene disponer de estas imágenes en el otoño, donde se pueden apreciar cambios de color asociados con el vigor y nivel de reservas de las plantas.

## DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL EN MONTES JÓVENES

Luego de la plantación y hasta la entrada en producción del monte, se enfatiza en los análisis de suelo más que en los foliares. Si la preparación del suelo fue bien programada y se corrigieron eventuales limitantes físicas y químicas, no es de esperar demasiados problemas causados por deficiencia de nutrientes. De existir algún inconveniente como la falta de vigor, el análisis de suelo brinda mayor información que el análisis de las hojas.

En montes recién implantados, se debe promover el crecimiento de las plantas. En suelo sin limitantes físicas y químicas, con riego gravitacional, una modesta fertilización nitrogenada y algunas aplicaciones foliares a base de microelementos, son a menudo suficientes para obtener el crecimiento deseado durante los primeros dos o tres años. En este tiempo no se justifica recurrir a un análisis foliar debido a que va a estar distorsionado por los crecimientos rápidos.

En plantaciones modernas, la técnica de fertirriego aporta el agua y los nutrientes necesarios. El programa se basa teniendo en cuenta la fertilidad natural del suelo. En el capítulo de Fertirriego se brinda más información al respecto.

## ALGUNAS CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA

Todos los nutrientes están en el suelo, solo se deben crear las condiciones para que las plantas lo absorban. El último recurso debe ser el fertilizante.

Hay que imaginarse la planta debajo del suelo. Con frecuencia se comete el error de ver solo la parte aérea.

El avance en conocimientos sobre la dinámica de los nutrientes en el frutal permite manejar mejor el programa nutricional.

Tener siempre una idea clara de lo que se persigue.

La coordinación de las labores culturales es crítica. Algunas de ellas como el riego, la poda y el raleo son determinantes en el ajuste del programa de fertilización.

Para grandes explotaciones, el trabajo en equipo y el libre flujo de opiniones entre el personal técnico y el productor empresario es útil. Más cabezas piensan mejor que una sola.

El diagnóstico nutricional cobra mayor importancia en sistemas de producción más eficientes como las plantaciones de alta densidad. Para un correcto diagnóstico, es necesario integrar tanto conceptos teóricos como prácticos. A medida que se dispone de más herramientas, como los análisis foliares o de reservas, será posible hacer un análisis más rico y disminuir la posibilidad de error. De todas maneras, la disponibilidad de datos no debe superar la capacidad de interpretación del productor o asesor.

Por último, en muchas regiones es posible hacer algunas generalidades en el diagnóstico, ya que los problemas son recurrentes. Por ejemplo, en los montes frutales ubicados en el Alto Valle de Río Negro, por ser una región relativamente homogénea, con un mismo clima y origen de sus suelos se sabe que:

- El nitrógeno debe ser aplicado en mayor o menor medida todos los años, por ser suelos de muy baja fertilidad en este nutriente.
- El cinc es deficiente en la totalidad de los montes de pepita y carozo.
- El boro es bajo en perales, fundamentalmente en la variedad Packham's.
- El potasio en suelos sueltos puede ser bajo, fundamentalmente para los perales.





**Foto 1.** Deficiencia de potasio en nogal: Necrosis en los márgenes de las hojas.



**Foto 2.** Deficiencia de magnesio en perales 'Beurrè Bosc': clorosis en hojas viejas.



**Foto 3.** Deficiencia de hierro en duraznero: clorosis interveinal en hojas nuevas.



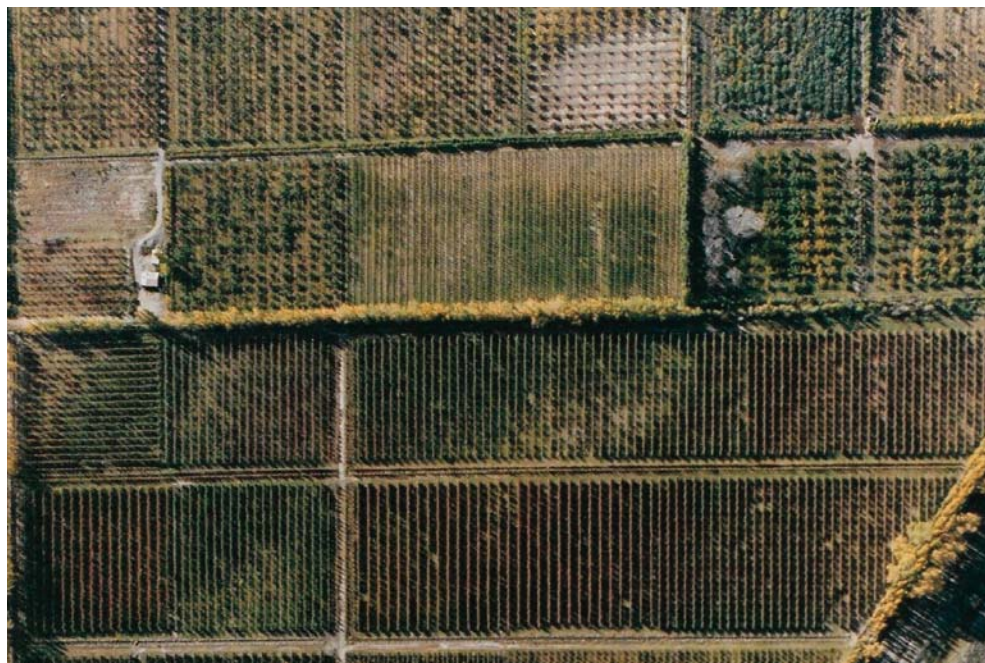
**Foto 4.** Deficiencia de cinc en duraznero: hojas alargadas y arrosetadas.



**Foto 5.** Síntomas de deficiencia de boro en manzanas 'Red delicious' y peras 'Beurrè D'Anjou'.



**Foto 6.** Síntomas de deficiencia de calcio en manzanas 'Red delicious' (bitter pit) y peras 'Williams' (necrosis apical).  
*Foto: Calvo, G. y Colodner, A.*



**Foto 7.** Aérea de Montes frutales en el Alto Valle de Río Negro.

#### BIBLIOGRAFÍA

- BEUTEL, J.; K. URIU & O. LILLELAND. 1983. Leaf analysis for California deciduous fruits. *In: Plant Tissue Testing in California. Bulletin 1879, University of California, 15-17.*
- FAUST, M. 1989. Physiology of temperate fruit trees. John Wiley & Sons, New York.
- JOHNSON, R.S. & K. URIU. 1989. Mineral Nutrition. *En: Peaches, Plums and Nectarines.* Eds. J.H. LaRue y R.S. Johnson. Coop. Extension University of California, Publication 3331.
- JONES, J.; B. WOLF & H.A. MILLS. 1991. Plant Analysis Handbook. 1. Methods of Plant Analysis and Interpretation. Micro-Macro Publishing Inc., Athens, Georgia, USA.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- SILVA, H y J. RODRIGUEZ. 1995. Fertilización de plantaciones frutales. Universidad Católica de Chile, página 397.
- SALE, P. 1988. Análisis foliar del kiwi. *In: Producción de kiwi.* Universidad Católica de Chile. Departamento de fruticultura y enología. Pp: 73-78.
- SÁNCHEZ, E.E. y M. CURETTI. 2014. Capítulo 25: Frutales: Carozo y pepita. *En: Echeverría, H & García F.O. (Eds). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. 2ª edición: 675-696.*
- TAGLIAVINI, M.; FAILLA, O. & XILOYANNIS C. 2012. La fertilizzazione nell'arboreto. *En: Arboricoltura Generale.* De Sansavini S. Patrón editore, Bologna, Italy.
- URIU, K. 1995. Nutritional disorders, 88-91. *En: Compendium of Stone fruit diseases.* The American Phytopathological Society, APS Press.
- WESTWOOD, M. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Ed. Mundiprensa.
- YOMMI, A. K.; SANCHEZ, E.E.; MANZO, E.; BENÉS, G.; MURRAY, R.E.; ROSENSTEIN, S. & VITERI, M.L. 2018. Kiwi: manejo del suelo, riego y fertilización. Ediciones INTA.

*capítulo*

# 8

## NUTRICIÓN NITROGENADA

El nitrógeno es el elemento clave en la nutrición mineral de las plantas. Como ningún otro nutriente, es determinante del vigor, la producción y calidad de la fruta. Por tal razón, el correcto manejo de la fertilización nitrogenada requiere del conocimiento de los ciclos internos de nitrógeno en el suelo y el árbol frutal, temas a los que se dedica cierta profundidad por su implicancia práctica. Afortunadamente, se dispone del conocimiento, producto de investigaciones con una mirada fisiológica, acerca de cómo las distintas especies frutales lo utilizan y procesan. Los resultados obtenidos, permiten realizar manejos más racionales del fertilizante y del sistema suelo-planta en su conjunto.

En situaciones normales, el nitrógeno disponible para las plantas proviene en casi su totalidad de la materia orgánica. La excepción a la regla, puede estar dada por el fertirriego en suelos esqueléticos.

En plantaciones frutales, la fertilización nitrogenada aporta una cuota importante del nitrógeno total que absorbe el cultivo; pero incluso en estos casos, el nitrógeno que proviene de la materia orgánica representa la principal fuente de abastecimiento. Cuando se enfatiza en la necesidad de conservar e incrementar en lo posible la materia orgánica del suelo, no sólo está implícito su rol físico en aspectos como la aireación y estructura, sino también su rol químico como determinante de la fertilidad del suelo.

La fruticultura de hace 40 años se basaba en prácticas conducentes a fomentar la fertilidad del suelo. Antiguamente el agregado de guanos o el empleo de abonos verdes era moneda corriente, pero la aparición de fertilizantes sintéticos simplificó muchísimo la incorporación de nitrógeno a un costo relativamente bajo. Sin embargo, con el correr de los años y en zonas áridas, la pérdida de materia orgánica causó deterioros físicos en los suelos reflejados en parámetros tales como la pérdida de estructura, deficiente aireación y menor infiltración del agua de riego.

Desde el punto de vista del aprovechamiento del nitrógeno por las plantas, la incorporación de fertilizantes sintéticos facilita mucho el manejo. La disponibilidad de nitrógeno mineral en los suelos es muy baja y con frecuencia no supera 0.1 % del nitrógeno total. Dicho de otra manera, solo unos pocos kilos por hectárea están en condiciones de ser absorbidos por las plantas, microorganismos, y sujetos a pérdidas por lavado o desnitrificación. La supuesta baja disponibilidad de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  en los suelos, no es más que un mecanismo de control de recursos críticos para la vida en general por parte de la madre naturaleza. Basta con imaginar que si la mayor parte del nitrógeno orgánico pasará a mineral, en muy poco tiempo el suelo quedaría totalmente desabastecido.

Plantas y microorganismos, compiten arduamente por el nitrógeno disponible. Es precisamente en la competencia por el sustrato, donde las formas disponibles de nitrógeno cambian constantemente de status; el mismo puede ser parte de un hongo, luego de una bacteria, pasar a formar parte de una planta y nuevamente ser liberado al suelo para continuar su ciclo. Como técnicos, nuestro objetivo es intervenir en el ciclo del N en el suelo y hacerlo disponible para las plantas en la cantidad requerida y en el momento oportuno. Para lograr dicho objetivo, es fundamental además de conocer las sucesivas transformaciones del nitrógeno orgánico en el suelo, entender sobre su absorción y demanda por parte de los frutales. Más en detalle y con una visión pragmática, existen conocimientos suficientes para distinguir comportamientos específicos según la especie y variedad.

## METABOLISMO DEL NITRÓGENO

### Absorción por raíces

De las formas de nitrógeno inorgánico en el suelo, solo el nitrato y el amonio tienen importancia en la nutrición de árboles frutales. En condiciones de campo, la nitrificación se produce muy rápidamente y es el nitrato la forma de N predominante en el suelo. El amonio es preferido respecto a nitrato de encontrarse disponible debido a que conlleva un menor costo para la síntesis de proteínas. Sin embargo, ante una deficiencia de hidratos de carbono que dificulten su metabolización, el amonio puede acumularse y resultar tóxico para la planta. Cuando se fertiliza con una fuente amoniacal y esta se encuentra al alcance de la raíz, su absorción es muy rápida.

En tanto, la absorción de nitratos es un proceso activo regulado según la necesidad de nitrógeno de la planta. Posteriormente su asimilación se encuentra regulada por el metabolismo del carbono de la planta. El nitrato requiere ser reducido a amonio para luego ser incorporado a un aminoácido. Esta reducción no ocurre en la oscuridad y se encuentra regulada por una enzima sensible a la temperatura y disponibilidad de agua. Así la nutrición en base a nitratos disminuye el riesgo de toxicidad porque asegura que no se produzca el amonio ante una baja disponibilidad de hidratos de carbono (Echeverría & Rozas, 2005).

### Reducción de nitratos

En los frutales de pepita y carozo, las raíces son el principal sitio de reducción de nitratos. También se ha detectado la enzima nitrato reductasa en hojas en presencia de cantidades considerables de nitrato en suelo (exceso de fertilización), pero esto es más una excepción que una regla. En cambio, en la vid, las hojas representan el sitio más importante de reducción de nitratos. La reacción que se produce en la raíz (o en la hoja) es la siguiente:



Esta simple ecuación representa la síntesis de dos reacciones. En primer lugar, el nitrato pasa a nitrito con la intervención de la enzima nitrato reductasa, y luego el nitrito pasa a amonio gracias a la enzima nitrito reductasa. El amonio es un producto tóxico en el citoplasma, por lo tanto es inmediatamente incorporado a una molécula orgánica.

La glutamina es el primer producto de la incorporación de amonio y la reacción es catalizada por la enzima glutamina sintetasa (GS) a partir de glutamato. La reacción necesita de Mg y Mn. Una vez sintetizada la glutamina, se forma el glutamato en presencia de glutamato sintetasa (GOGAT). Estas enzimas han sido aisladas en corteza y hojas de manzano pero no en raíces.

Como en todo proceso de reducción, es necesaria una fuente de energía química. Cuando el proceso ocurre en las hojas, allí existe energía a muy bajo costo que proviene de la reacción lumínica de la fotosíntesis; en cambio, cuando el proceso se localiza en la raíz la energía en forma de ATP proviene de la respiración en las mitocondrias.

Uno de los primeros aminoácidos incorporados es asparagina, que se forma a partir de la glutamina y el ácido aspártico dando glutamato y asparagina (es decir hay una transferencia de la amida-N). El aspartato, provee el esqueleto hidrocarbonado para la síntesis de aminoácidos y se origina posiblemente a partir del ácido oxalacético. La arginina es otro de los aminoácidos que se transportan desde las raíces. Su síntesis es considerada en tres pasos sucesivos; de glutamato (1N) a ornitina (2N) luego a citrullina (3N) y por último arginina (4N). Por transaminaciones sucesivas, se originan los distintos aminoácidos necesarios para la síntesis de proteínas. Surge de lo precedente, la estrecha relación existente entre el metabolismo del nitrógeno y del carbono. Sin suficientes reservas de carbohidratos en la raíz, no es posible un proceso de asimilación de nitrógeno.

Los aminoácidos sintetizados en la raíz, son conducidos por el xilema a la parte aérea, donde son requeridos en los puntos de crecimiento o “polos de atracción” para la síntesis de proteínas. La absorción de nitratos, su reducción a amonio y la síntesis de aminoácidos y proteínas se producen con variada intensidad a lo largo del ciclo de crecimiento, hasta que existen señales claras en la planta que sugieren la finalización del año productivo. En ese momento se enciende otro mecanismo que barre literalmente con toda fuente mineral y de energía aprovechable, para reutilizarlas en la temporada venidera.

### Reciclaje en otoño y almacenamiento invernal

La principal fuente de reservas nitrogenadas en los árboles frutales es la removilización del N proveniente de las hojas senescentes, pero también realiza un aporte el N absorbido al inicio del otoño (Sánchez *et al.*, 1991). Entre un 20 y 80 % del nitrógeno presente en las hojas es reciclado en el otoño y puede alcanzar entre 20 y 30 kg N por hectárea (Tagliavini & Millard, 2005). Este proceso se inicia en algún momento luego de la cosecha, dependiendo de las condiciones nutricionales de la planta y del medioambiente, tales como la disminución de las horas de luz y la temperatura. Todo tipo de estrés en poscosecha acelera la senescencia, mientras que condiciones óptimas de humedad, temperatura y la nutrición la retardan.

El árbol tiene un mecanismo de control que optimiza a la perfección su capital energético y mineral. En lo referente al nitrógeno, se conoce la generalidad del proceso que involucra la degradación de las proteínas a formas más simples que puedan ser transportados a los órganos de reserva.

La manera en que la proteína de la hoja se hidroliza y es movilizada en los órganos de reserva, no ha sido estudiado en detalle. Se piensa, que las amidas son las formas predominantes de transporte de N desde las hojas senescentes a las reservas. Sin embargo, las proteínas predominan como N de reserva en la corteza, mientras que el N soluble representa una mínima fracción. Por lo tanto, en los sitios de almacenaje se debe producir una nueva síntesis de proteínas (Titus & Kang, 1982).

En los frutales, los tejidos leñosos actúan como almacenadores de carbohidratos y minerales. Cuando los nutrientes migran desde las hojas, se incorporan a la corteza de ramas y tronco y llegan hasta las raíces. En manzano, por ejemplo, se ha medido que el nivel de proteínas de reserva de la corteza aumenta en el otoño, llega a un punto máximo en el invierno y luego comienzan a disminuir unas tres semanas antes de la

brotación. Esto es lógico, si se considera que el período que abarca desde yema hinchada a brotación requiere una gran cantidad de nutrientes y energía.

### Reutilización del nitrógeno de reserva

En la primavera, la floración y los primeros estadios vegetativos de los árboles dependen casi exclusivamente del N almacenado, tal como fue observado por Neilsen *et al.*, (1997) respecto del desarrollo de los dardos en manzanos y Sánchez *et al.* (1991), Tagliavini *et al.* (2000) respecto de las flores y hojas en peral. La movilidad de las reservas hacia los llamados “polos de atracción” es principalmente por la vía del floema hasta que las hojas se expanden. En ese momento comienza a ser importante la contribución del xilema.

Los primeros compuestos en movilizarse son los aminoácidos de los tejidos adyacentes a los sitios de consumo, como las ramas de un año y los dardos, en el caso del manzano. Con posterioridad se produce una hidrólisis masiva de proteínas *in situ*, que es más acentuada a medida que procede el nuevo crecimiento.

La removilización del N proveniente de las reservas finaliza al cabo de una semana en función de la cantidad de N almacenado (Tagliavini & Millard, 2005). Posteriormente, la absorción radical comienza a incrementarse y se convierte en una importante fuente de N para el crecimiento de los brotes. Sin embargo, es en este período en el cual se encuentra frecuentemente una deficiencia nitrogenada debido a la baja temperatura de suelo, la cual no solo condiciona la absorción sino que también afecta fuertemente la tasa de mineralización de la materia orgánica, lo que determina una menor disponibilidad de nutrientes (Millard, 1996).

### Relación carbono-nitrógeno

Resulta imposible discutir el metabolismo del nitrógeno sin involucrar al elemento carbono. Mientras que el nitrógeno es un componente obligado de enzimas y por lo tanto el elemento clave en cualquier proceso metabólico de la planta, el carbono interviene en la provisión de esqueletos estructurales para la síntesis de compuestos y de sustancias de reservas necesarias para el funcionamiento celular. Tal es la interdependencia entre estos elementos, que los antiguos fisiólogos impusieron el concepto de la relación carbono-nitrógeno (C/N). Se enfatiza en la necesidad que el frutal tenga niveles altos de C y de N, situación que representaban como el estado C/N, en contraposición al c/n que expresa niveles bajos de ambos. Siguiendo igual criterio, uno puede representar la situación C/n o N/c. Cualquiera de las cuatro posibilidades se encuentran en nuestros montes frutales.

La condición C/N es ideal, porque el árbol dispone de suficiente nitrógeno e hidratos de carbono de reserva necesarios para llevar adelante el crecimiento vegetativo, el de sus frutos y alimentar a las futuras yemas florales. Existen prácticas culturales y situaciones particulares que modifican la deseada relación C/N. Por ejemplo, un excesivo cuaje de frutos si no es seguido por un correcto raleo, limita el crecimiento vegetativo y de los frutos y puede llevar a una relación que puede ser c/N, si el productor fertiliza o -peor aún- a una relación c/n, que representa un vigor muy pobre de la planta.



Si el frutal es de ciclo largo y no tiene tiempo de restablecer las reservas de carbono y nitrógeno, no cabe duda que la cosecha futura puede estar seriamente comprometida. Una relación C/N se da también luego de una poda intensa, mientras que la condición opuesta C/n ocurre con frecuencia en montes dejados sin podar y fertilizar. No debe confundirse la relación C/N con un exceso de vigor y de fertilización nitrogenada, sino más bien como una relación equilibrada.

Una interpretación moderna de la relación carbono-nitrógeno debe contemplar a la especie y variedad en cuestión y al estado fenológico. Mientras que en un ciruelo o un peral cv. 'Williams', la relación C/N es altamente deseable en toda la temporada, en los manzanos cv. 'Gala' y 'Cripps Pink' esta relación es deseable en el otoño y en la brotación, pero de ninguna manera durante el crecimiento del fruto donde una buena disponibilidad de nitrógeno, compromete el color y la calidad de la fruta (Cheng & Wang, 2011).

El manejo de la relación C/N requiere del conocimiento fisiológico y agronómico del cultivo. Mientras que el manejo del componente N requiere de la aplicación directa de fertilizantes en forma anual, el manejo de carbono utiliza un recurso muy barato como lo es la luz. A pesar de lo económico que resulta hacer uso de la luz, este factor es tal vez el más limitante de todos los conocidos. La optimización de la captación de la luz solar, es el desafío más grande que enfrentan los fruticultores y profesionales en los montes de alta densidad de cualquier especie frutal en cualquier región del mundo.

La luz estimula la fotosíntesis y mayor fotosíntesis se corresponde con mayor crecimiento; el problema es lograr crecimientos equilibrados en el conjunto de la planta y no sólo en el tercio superior de la copa. Arriba en la copa siempre hay luz y si a esto le sumamos el nitrógeno, la combinación no puede ser más perjudicial para el bolsillo del productor. Teniendo a los nutrientes esenciales en cantidades normales en la planta, el único elemento que puede provocar un desequilibrio es el nitrógeno. Un exceso de fósforo o potasio, por citar a algunos, jamás provocan una escapada de crecimiento, pero el nitrógeno goza de esa facultad. Es por esta razón, que ha sido el elemento mineral más estudiado y al que se le dedica mayor atención.

### Efecto de la nutrición con amonio y nitrato

Tanto el ion amonio como el ion nitrato, son absorbidos por las raíces de los frutales. Una vez en la raíz, el amonio pasa directamente a la forma aminoácido, pero el nitrato debe ser reducido. La reducción de nitratos implica en la célula un cambio de pH porque consume iones H<sup>+</sup>. La absorción de nitrato también estimula la absorción de cationes, mientras que la absorción de amonio las inhibe. Es probable que estas dos formas distintas de nitrógeno actúen afectando procesos fisiológicos de manera diferencial. Por ejemplo, es sabido que el crecimiento vegetativo y la floración de manzanos y perales están influenciados no sólo por la cantidad y época de aplicación del nitrógeno, sino también por la forma (amonio o nitrato) del nitrógeno aplicado.

Existen antiguos antecedentes en la literatura, respecto de que soluciones nutritivas a base de amonio favorecen la floración, mientras que las de nitrato ejercen el efecto opuesto y estimulan en mayor medida el crecimiento vegetativo de los árboles (Grasmanis & Edwards, 1974, Shear & Faust, 1971). Se supone que estos efectos provocados por la forma de nitrógeno, están asociados a la producción de hormonas, principalmente citoquininas y giberelinas. La fertilización a base de amonio estimula la producción de

citoquininas en las raíces, las cuales son transportadas posteriormente por el xilema de las plantas (Faust, 1989).

Estudios posteriores en Japón (Gao *et al.*, 1992), informaron con mayor grado de detalle sobre el efecto de estos iones en la variedad 'Fuji' sobre una amplia gama de portainjertos, tanto enanizantes como vigorosos. Las plantas fueron sometidas por casi un ciclo vegetativo completo a amonio (A), nitrato (T) y una combinación de ellos (AT). Los resultados fueron impactantes. Se observó que la respuesta del crecimiento y la floración respecto de las variadas fuentes de nitrógeno dependía de los portainjertos (Cuadros 8.1 y 8.2). En 'Fuji' sobre portainjertos enanizantes, la nutrición con amonio redujo el crecimiento vegetativo y la longitud de entrenudos, pero incrementó el crecimiento lateral de ramas y la floración.

**Cuadro 8.1.** Crecimiento en longitud y número de ramas laterales en manzanos cv. 'Fuji' sobre siete portainjertos sometidos a una nutrición nitrogenada a base de nitrato (N), amonio (A), o a una combinación de ambos (NA). Modificado a partir de Gao *et al.*, 1992.

	Semivigorosos		Semi enanizantes			Enanizantes	
	M16	M11	M4	M7	MM106	M26	M27
<i>Crecimiento (cm)</i>							
<b>N</b>	310	285	365	325	285	280	215
<b>A</b>	305	285	310	270	310	260	180
<b>NA</b>	300	200	200	210	230	165	135
<i>Nº ramas laterales</i>							
<b>N</b>	5,3	5,5	7,3	6,4	4,8	5,1	6,2
<b>A</b>	5,6	5,0	7,4	6,0	5,5	5,3	7,4
<b>NA</b>	5,9	6,8	9,1	8,9	8,8	7,3	8,3

A medida que los portainjertos son más vigorosos, estas diferencias tienden a desaparecer. Contrariamente, la nutrición a base de nitrato incrementa el crecimiento vegetativo y la longitud de entrenudos, y disminuye el número de ramas laterales y la floración.

**Cuadro 8.2.** Floración en manzano cv. 'Fuji' sobre siete portainjertos sometidos a una nutrición nitrogenada a base de nitrato (N), amonio (A), o a una combinación de ellos (NA). Datos extraídos de Gao *et al.*, 1992.

	Semivigerosos		Semi enanizantes			Enanizantes	
	M16	M11	M4	M7	MM106	M26	M27
<i>Nº yemas terminales</i>							
<b>N</b>	0,7	1,1	1,0	0,9	2,4	1,7	4,0
<b>A</b>	0,6	1,0	1,0	1,4	2,6	1,4	4,2
<b>NA</b>	0,6	1,5	1,2	0,9	2,4	3,2	3,9
<i>Nº yemas axilares</i>							
<b>N</b>	0,8	0,7	0,6	4,6	9,7	4,4	7,3
<b>A</b>	1,1	6,2	5,3	7,7	12,2	10,0	6,8
<b>NA</b>	1,0	8,0	8,3	13,7	16,9	14,0	15,6

El efecto del portainjerto es más marcado en aquellos que controlan el crecimiento y no en los portainjertos de mayor vigor. La nutrición a base de ambas formas nitrogenadas (AT) proporciona respuestas intermedias a la de los iones puros. Ello sugiere que las respuestas están mediadas por hormonas. En portainjertos vigorosos, no existen diferencias en actividad citocínica frente a las distintas formas de nitrógeno. En cambio, las diferencias son muy marcadas en los portainjertos de vigor medio y enanizantes, con mayor actividad en los tratamientos amonio y amonio-nitrato.

Es sabido, que la emisión de ramas laterales y la floración involucran a las citoquininas. También es conocido que pulverizaciones con zeatina y benciladenina a mediados del verano, incrementan la floración en la primavera siguiente, por lo tanto las respuestas observadas son lógicas y esperadas.

Las fuentes de síntesis de giberelinas en los frutales son las semillas de los frutos y los ápices radicales y vegetativos. No todas las giberelinas ejercen el mismo efecto. Tromp (1982) informó que las giberelinas GA3 y GA7 son inhibitorias de la floración, mientras que la GA4 es indiferente. Looney *et al.* (1985), demostraron que la forma GA4 y su isómero C-3 epi GA4 estimulan la floración. Los resultados presentados en cuanto a la respuesta en 'Fuji', sugieren que los portainjertos enanizantes favorecen la formación del tipo de giberelinas estimulantes de la floración cuando son sometidos a fuentes de amonio.

Estos estudios realizados en condiciones controladas, en donde no existe posibilidad de confundir efectos, tienen un valor didáctico muy importante porque permite comprender que la nutrición mineral interviene directa e indirectamente en procesos fisiológicos en forma permanente. Es evidente que a campo resultaría prácticamente imposible mantener al ion amonio sin pasar en algún momento a la forma nitrato. Sin embargo para plantas de 2 o 3 años a través de fertirrigación con fuentes de amonio e inhibidores del proceso de nitrificación, sería posible favorecer el desarrollo de yemas florales. Estudios a campo que prueben esta teoría no son de nuestro conocimiento.

## MANEJO DEL NITRÓGENO EN PLANTAS DE VIVERO

En la bibliografía, no existen referencias de trabajos que enfoquen esta cuestión de un modo integral para frutales de pepita y carozo. En cambio, llamativamente, el tema ha sido muy estudiado para especies forestales debido a la necesidad de contar con plantas de calidad a implantar en lugares poco favorables para su posterior desarrollo.

En la fruticultura moderna, se insiste en la necesidad de implantar montes que produzcan precozmente, para lo cual en los primeros años de la plantación se busca maximizar el crecimiento vegetativo de los árboles para cubrir el espacio asignado en la plantación lo antes posible. Este objetivo no se logra si se parte de plantas con poco vigor, sin adecuadas reservas en su fuste y con un sistema radical deficiente. A nadie escapa la importancia de la fertilización en el crecimiento de una planta. Sin embargo, fertilizar no es simplemente agregar abono; en una planta joven, significa buscar un crecimiento equilibrado de su raíz y fuste y una maduración de madera tal que permita su plantación en el lugar definitivo lo más temprano posible.

En cualquier vivero comercial, la fertilización se basa en una aplicación de N, P y K como fertilización de base, más algún complemento por vía foliar. Durante el ciclo de crecimiento, el agregado de N es inevitable y se hace casi de manera sistemática, siguiendo en el mejor de los casos un calendario fijo en cuanto a la dosis por aplicación y a la época de corte de ésta. Conociendo la dinámica del N en la planta, es posible imaginar que tanto la cantidad que se aplique como la fecha de última fertilización influyen en el comportamiento presente y futuro de la planta.

Precisamente estos interrogantes fueron abordados en un estudio que se llevó a cabo en Oregon en manzanos cvs. 'Gala' y 'Fuji' sobre portainjerto M7 manejados con fertirrigación (Castagnoli *et al.*, 1995). Como variables, se consideraron dos dosis de nitrógeno: 56 (N1) o 224 (N4) ppm de N en la solución y tres épocas de corte de la fertilización: 23 de Julio (C1), equivalente a Enero en el Hemisferio Sur), 17 de setiembre (C2), equivalente a marzo y 12 de noviembre (C3) que equivale a mayo, respectivamente (Castagnoli *et al.*, 1995). En términos de cantidad de nitrógeno aplicado por planta y por tratamiento, variaba de 0,6 gramos a 7,7 gramos como puede verse en el Cuadro 8.3.

**Cuadro 8.3.** Dosis en gramos de nitrógeno aplicado por planta según dosis y época de corte de la fertilización en el hemisferio norte (HN) y sus análogas para el hemisferio sur (HS). Ensayo realizado por Castagnoli *et al.*, (1995).

Concentración de N	Época de corte de la fertilización		
	C1 23 Julio (HN) 23 Enero (HS)	C2 17 Setiembre (HN) 17 Marzo (HS)	C3 12 Noviembre(HN) 12 Mayo (HS)
56 ppm (N1)	0,6	1,3	1,9
224 ppm (N4)	2,6	5,1	7,7

Se estudió la combinación de estos factores en el calibre de la planta, el efecto en la dormancia, el grado de defoliación natural, la tolerancia al frío y el crecimiento medido a las 10 semanas después de brotación en la primavera siguiente. Los resultados se sintetizan de esta manera:

**Calibre de planta:** La dosis máxima de N incrementó en un 33 % el calibre de planta comparado con la dosis menor, mientras que la época de corte de fertilización tuvo un efecto menos pronunciado (Cuadro 8.4).

**Dormancia:** En 'Fuji', plantas con la dosis máxima de N no entraron en dormancia. En cambio las plantas del tratamiento con bajo nitrógeno (N1) no rompieron dormancia en el primer test del 15 de octubre pero para el 30 de noviembre habían completado parcialmente el requerimiento de frío y brotaron a los 40 días.

En 'Gala', al igual que en Fuji, plantas del tratamiento N4 no habían entrado en dormancia el 15 de octubre mientras que las del tratamiento N1 si lo habían hecho y por lo tanto no brotaron. En cambio para el 12 de noviembre las plantas de ambos tratamientos estaban en dormancia y no brotaron. Estos resultados confirman anteriores estudios, que mencionan que la dormancia en manzano está fuertemente influenciada por factores ambientales y no depende del fotoperíodo.

**Defoliación:** Las combinaciones N1-C1 y N4-C1 resultaron en una defoliación temprana. Las variedades se comportaron en forma distinta, ya que la defoliación en 'Gala' es más anticipada que la defoliación en 'Fuji'. Los resultados demuestran que la época de corte de fertilizaciones es más importante que la dosis de N. Es decir que para lograr una rápida pérdida de hojas es crítica la época de última fertilización y no tanto la cantidad de N aplicado hasta ese momento.

**Tolerancia al frío:** Estos estudios son fundamentales para regiones donde la temperatura invernal cae por debajo de -20 o -25 °C. Aquí el tratamiento N4 fue perjudicial para resistir el frío, pero la época de corte de la fertilización no tuvo ningún efecto. Es evidente que una alta nutrición nitrogenada disminuye la resistencia al frío y debe ser un factor a tener en cuenta en regiones como norte de Europa y Estados Unidos. Afortunadamente en el Hemisferio Sur, este problema no reviste gravedad alguna.

**Crecimiento en primavera:** Se vio que existe una interacción positiva entre dosis y época de corte de fertilización. La dosis alta de nitrógeno resultó en un adelanto de la brotación en todos los tratamientos, a excepción del C1. Además el crecimiento en la primavera fue significativamente mayor en el tratamiento N4 con respecto al N1 (Cuadro 8.4). También se observó que el tratamiento C2 rinde un 33 % más de materia seca que el tratamiento C1 a pesar de la pequeña diferencia observada en el calibre de la planta al finalizar el ciclo de crecimiento.

Como conclusión, se puede afirmar que el calibre de las plantas se incrementó con la dosis más alta de nitrógeno y la época de corte de fertilización más tardía. El inicio de la dormancia se prolonga y la resistencia al frío es menor con la dosis alta de nitrógeno. La brotación en primavera fue anticipada por la dosis alta de nitrógeno y la época de corte de fertilización media y tardía. El tamaño de las plantas luego de 10 semanas de crecimiento en la primavera siguiente, fue mayor en las plantas que recibieron alta dosis de nitrógeno de manera continua hasta el fin del otoño. Estos resultados, señalan claramente la influencia que ejerce el nitrógeno y resaltan el distinto comportamiento varietal. Es evidente que cultivares distintos necesitan tratamientos diferenciales.

Si bien el citado estudio incluyó como única variable al elemento nitrógeno, se sabe de la importancia de nutrir a una planta de vivero con micro elementos. Al respecto, la experiencia indica claramente la necesidad de agregar Zn, B, Fe y Mn en dos o tres oportunidades por vía foliar para lograr buena nutrición del fuste y hojas y permitir una brotación pareja con ramas anticipadas. Vale aclarar que el citado manejo debe ser complemento de la nutrición con el nutriente "luz". Las plantas demasiado juntas en el vivero no permiten la nutrición de las yemas basales, que son en la mayoría de los casos las encargadas de brotar luego de la poda de plantación.

**Cuadro 8.4.** Diámetro de fuste (mm) y peso seco por planta (gramos) en la primavera siguiente en plantas tratadas con bajo nitrógeno (N1) o alto nitrógeno (N4) y en tres épocas de corte de la fertilización (Castagnoli *et al.*, 1995).

Dosis de N	Diámetro de fuste (mm)	Peso seco de planta (g)
N1	5,7	42 a
N4	8,0	79 b
Época de corte		
C1	6,5	48 a
C2	7,0	64 b
C3	6,9	68 b

## DEMANDA DE NITRÓGENO EN PLANTACIONES ADULTAS

La demanda o requerimiento anual de nitrógeno, como así también la de cualquier nutriente ha sido motivo de estudio en las primeras épocas de la nutrición mineral de los frutales. La demanda de nitrógeno fue en sus comienzos una simple guía que sirvió para dar cumplimiento al dogma "reponer al suelo lo que extrae el cultivo", entendiendo por extracción todo el N contenido en el nuevo crecimiento ( frutos, hojas, brotes, raíces y el incremento lógico de la estructura del tronco y ramas).

En la actualidad, los cálculos/estimaciones de demandas nutricionales se realizan considerando las necesidades de las plantaciones modernas. Cuando antes se estudiaba el N que extraía una plantación de 200 plantas por hectárea de 'McIntosh' sobre pie franco, hoy se estudia cómo se particiona el nitrógeno en un monte con 1500-2000 plantas por hectárea.

Estos trabajos aportan otros datos que seguramente son de mucho más valor que la mera extracción de nutrientes, y es que tienen en cuenta la partición de materia seca entre los distintos componentes del crecimiento. Si se considera esta última aproximación, se pueden clasificar portainjertos y aún sistemas de producción. Tal vez a unos pocos les interesa la cantidad de N que se llevan los frutos en comparación a los otros compartimentos, pero a la mayoría le importa qué proporción de la materia seca del crecimiento anual le corresponde a los frutos.

Desde un punto de vista muy simplista (y ciertamente equivocado) el cálculo de la fertilización nitrogenada se puede estimar teniendo en cuenta la demanda total, considerando la cantidad de nitrógeno que necesitan las hojas, ramas, frutos y raíces. Para un monte adulto de manzano con un rendimiento de 50 toneladas de fruta por hectárea la demanda total de nitrógeno ronda los 150 kilos.

Es probable que esta aproximación hoy día se aplique con la firme convicción de que funciona muy bien. De hecho puede funcionar bien en muchos casos por factores que el productor desconoce. En primer término los 150 kilos de N no se aprovechan en un ciento por ciento. De esa cantidad no más del 20-40 % es absorbida por el cultivo y la vegetación herbácea. El resto se pierde en su gran mayoría por lavado. Una mínima parte se retiene en la masa microbiana del suelo.

Cabe entonces preguntar, porqué el cultivo responde bien, si en realidad tomó a lo sumo un 40 % del N aplicado. La respuesta es sencilla; el resto del N proviene de la mineralización de la materia orgánica y del reciclaje interno de la planta (N liberado del tronco, ramas y raíces). En los casos que el suelo esté bien provisto de materia orgánica y existan suficientes reservas en las plantas, los 150 kilos de N aplicado causarán un exceso de vigor. Por el contrario, si el suelo es muy pobre en materia orgánica y las reservas de las plantas son escasas, los 150 kilos de N serán insuficientes.

Como se aprecia, el citado ejemplo puede funcionar en algunos casos, pero no siempre. Para arribar a una dosis más realista, es imprescindible tener en cuenta la calidad del suelo, el equilibrio entre brotes y frutos, la concentración de N de las hojas, las fertilizaciones anteriores, la carga frutal, la calidad de fruta requerida y el manejo del agua.

Se debe partir de la base que es muy importante conocer la partición de N en las plantaciones modernas de alta densidad para entender cuáles son los “pooles” de N más importantes. El cálculo del requerimiento de cada componente del crecimiento, involucra un gran trabajo de campo si se tiene en cuenta que es necesario cosechar cada porción del árbol por separado, calcular su peso seco, luego la concentración de nitrógeno y por último la cantidad total de N. De todas las partes de la planta, lo más fácil es calcular el peso de los frutos. La medición de la materia seca de las hojas es más complicada, porque requiere de la instalación de una malla colectora que cubra las plantas. De la estructura o esqueleto del árbol, se debe analizar lo que corresponde a ramas de un año, dos años, ramas principales y el tronco, trabajo que requiere un buen serrucho y balanza. Las raíces son más complicadas de extraer y lavar, especialmente en suelos con elevado contenido de arcillas.

Al entrar el invierno, cuando las hojas han caído, se destruyen 5 o 6 árboles. Se dividen en los componentes arriba mencionados, se toma el peso fresco, luego se estima el peso seco y se hacen los análisis de nutrientes que se quiera. Cuando se finalice, se tendrá el dato de un año. En la próxima temporada se repite la operación con otra serie de plantas, Este trabajo se debe hacer al menos durante tres temporadas, para establecer con cierta confiabilidad el incremento de materia seca del tronco, ramas y raíces. Si la producción es estable y el vigor de la planta está controlado, no es de esperar mucha diferencia en los valores anuales de las hojas, brotes y frutos.

Una vez finalizado los trabajos, se podrá construir una tabla con los coeficientes de reparto de materia seca como los que figuran en el Cuadro 8.5. El coeficiente de reparto indica cómo es la partición aproximada de materia seca en los distintos componentes del crecimiento anual.

**Cuadro 8.5.** Coeficientes de reparto de materia seca en diversas especies (Silva y Rodríguez, 1995).

	Fruto	Hoja	Brote	Raíz	Tronco y ramas	Total
Vid	0,39	0,16	0,20	0,05	0,20	1,00
Manzano Granny	0,49	0,17	0,09	0,05	0,20	1,00
Manzano Red Standard	0,52	0,17	0,06	0,05	0,20	1,00
Manzano Red Spur	0,56	0,15	0,04	0,05	0,20	1,00
Peral	0,47	0,21	0,07	0,05	0,20	1,00
Cerezo	0,30	0,34	0,11	0,05	0,20	1,00
Duraznero	0,36	0,23	0,16	0,05	0,20	1,00
Damasco	0,35	0,29	0,11	0,05	0,20	1,00

La concentración de N promedio de los distintos tejidos en las especies anteriores, se muestra en el Cuadro 8.6.

**Cuadro 8.6.** Concentración promedio de nitrógeno (%) en diversos tejidos (Silva y Rodríguez, 1995).

	Fruto	Hoja	Brote	Raíz	Tronco y ramas
Vid	0,70	1,25	0,75	1,00	0,40
Manzano Granny	0,43	1,25	0,99	1,00	0,36
Manzano Red Standard	0,28	1,25	0,99	1,00	0,36
Peral	0,36	1,25	0,94	0,97	0,45
Cerezo	0,80	1,10	0,90	1,00	0,45
Duraznero	1,13	1,30	1,15	1,00	0,50
Damasco	0,82	1,30	1,00	1,00	0,60

Consultando la bibliografía especializada, se puede comprobar que las concentraciones de N de los frutos, especialmente en manzanos es muy variable. Por ejemplo en el Alto Valle de Río Negro la media general de N en los frutos se sitúa muy por encima de 0,35 %, observándose una extracción cercana a 0,5 Kg de N por cada tonelada de manzana cosechada. Otro dato variable, corresponde a las hojas senescentes. En otoños largos, donde la caída de hojas es muy lenta, la concentración de N es más cercana al 1 % que a 1,3 %.

Otros autores mencionan una concentración superior de N en los frutos (Weinbaum *et al.*, 1992; Tagliavini *et al.*, 2000), expresada como kg de nutriente por tonelada de fruta cosechada. Los valores más bajos corresponden a frutas de pepita (0,5-0,7 Kg N/t), seguidas por la fruta de carozo (0,9-1,3 Kg N/t). En tanto que la uva y el kiwi presentan una mayor concentración de N: 1,3-1,8 Kg por tonelada cosechada.



Trabajando un poco con los datos de los cuadros, se puede concluir que tanto las hojas como los frutos son los componentes del crecimiento anual que mayor demanda de N tienen. En la vid por ejemplo, los brotes demandan mucho N, pero luego de la poda, la mayor parte vuelve al suelo. Lo mismo se puede decir del duraznero que requiere podas en verde de los brotes. Este cultivo se destaca por la alta concentración de N que presenta tanto en las hojas como en los frutos.

La distribución de materia seca y de nitrógeno es bastante diferente si el monte es joven y en activo crecimiento estructural, ya que los productos de fotosíntesis se distribuyen principalmente hacia las estructuras permanentes, más que a los pocos frutos existentes. En cambio un monte adulto de manzano o peral con una producción de fruta estabilizada, no destina mucha materia seca (y nitrógeno) a los brotes y ramas estructurales pero sí lo hace a las hojas y frutos.

Un cálculo realista de la demanda de nitrógeno debe incluir necesariamente el rendimiento esperado de fruta. En base a los datos presentados de la partición de N en los distintos componentes del crecimiento anual en montes estabilizados y teniendo en cuenta las toneladas de fruta a cosechar, es posible determinar más ajustadamente las necesidades de nitrógeno. El Cuadro 8.7 muestra el N total requerido por hectárea en frutales de pepita y carozo con rendimientos adecuados.

**Cuadro 8.7.** Necesidades de nitrógeno en Kg/ha en frutales de pepita y carozo (Modificado de Silva y Rodríguez, 1995).

	Rendimiento ton/ha	Fruto	Hoja	Brote	Raíz	TroncoRamas	Total
Manzano	70	31,5	45,5	12,0	10,5	15,5	115
Peral	60	34,5	54,0	13,5	10,0	18,0	130
Vid	30	40,0	29,5	21,5	7,5	11,5	110
Duraznero	30	61,0	45,0	26,5	7,5	15,0	155
Damasco	25	35,0	46,0	14,0	6,0	14,5	115
Cerezo	12	21,5	34,0	9,0	4,5	8,0	77

Los valores extremos corresponden al duraznero con 155 Kg de N/ha y al cerezo con sólo 77 kg N/ha. Las diferencias radican fundamentalmente en el bajo rendimiento y en la menor cantidad de brotes que emite el cerezo en comparación al duraznero. Es importante destacar que los requerimientos estimados en el Cuadro 8.7 para nada significa que debe ser la cantidad de N a agregar a través de la fertilización. Se debe tener en cuenta que parte de ese N proviene de las reservas y de lo absorbido por el suelo que a su vez, una parte es N proveniente de la mineralización de la materia orgánica y otra del fertilizante. Un razonamiento aceptable sería el siguiente: asumamos que las reservas del árbol aportan aproximadamente un 30 % del N que demanda el nuevo crecimiento y que el restante 70 % es aportado en un 60 % por el suelo y en un 40 % por el fertilizante. Por lo tanto la demanda de N necesaria para llegar a los rendimientos del Cuadro 8.7 se deben desdoblarse en sus distintos componentes (N de reserva, N del suelo y N del fertilizante) según se ilustra en el Cuadro 8.8.

**Cuadro 8.8.** Aporte de nitrógeno por parte de las reservas de la planta, suelo y fertilizante para frutales de pepita y ca-rozo, expresado en kg/ha.

	Rendimiento ton/ha	Demanda de N (kg/ha)	N de Reservas (kg/ha)	N del Suelo (kg/ha)	N del Fertilizante (kg/ha)
Manzano	70	115	34,5	48,5	32,0
Peral	60	130	39,0	54,5	36,5
Vid	30	110	33,0	46,0	31,0
Duraznero	30	155	46,5	65,0	43,5
Damasco	25	115	34,5	48,5	32,0
Cerezo	12	77	23,0	32,5	21,5

Las cantidades de N a agregar vía fertilizante varían desde 21 kg/ha para el caso del cultivo del cerezo a casi 44 kg N/ha para el duraznero. Lamentablemente, la eficiencia de una fertilización nitrogenada nunca llega al 100 %, por lo que será necesario agregar más cantidad. Obviamente se debe hacer la salvedad que en la estimación precedente se ha considerado que el suelo dispone de suficiente materia orgánica, de ser meramente un soporte con baja fertilidad natural, será necesario ajustar la dosis del fertilizante nitrogenado.

En términos generales, el nitrógeno bajo la forma nitrato se mueve con el agua. Sea ésta proveniente de una lluvia o de un riego el movimiento del agua en el perfil del suelo está acompañado de iones nitrato. El riego y el lavado de nitrógeno van de la mano. Cuanto más eficiente sea el sistema de riego, mayor será la recuperación del fertilizante nitrogenado. Los trabajos que miden la eficiencia de aplicación de los fertilizantes nitrogenados arrojan resultados sorprendentes y hasta inesperados. El límite máximo de recuperación por el frutal lo marca la fertirrigación con una eficiencia de no más del 60%, mientras que el valor mínimo de recuperación está asociado a los riegos por inundación que pueden llegar a un 15-20 %.

La recuperación final del fertilizante en realidad es mayor, si se considera que una parte del mismo es absorbida por las raíces de la vegetación del interfilas, y que en algún momento la broza o raíces se incorporan nuevamente al "pool" de N del suelo. El ciclo del N en un monte es bastante más complejo de lo que aparenta, porque también se debería considerar la fracción del fertilizante que es tomada por los microorganismos del suelo. Con todos estos considerandos de lo que ocurre en el suelo y el cultivo, lo cierto es que las mayores pérdidas de N son producto del lavado del fertilizante.

Asumiendo nuevamente, distintas eficiencias de aplicación, se puede construir el Cuadro 8.9 donde se indica cómo el mismo requerimiento de N se traduce en distintas dosis de N por hectárea de acuerdo al sistema de riego empleado. En la construcción de este cuadro se tuvieron en cuenta valores máximos de eficiencia compatibles con el sistema de riego empleado. Para el riego por inundación se toma un índice de eficiencia de 0,25, en el riego por surco un índice de 0,40, y en el caso de la fertirrigación un valor de 0,60, aunque en un riego por goteo bien manejado puede ser sustancialmente mayor.

**Cuadro 8.9.** Requerimiento de fertilización nitrogenada (kg/ha) según sistema de riego empleado en el monte frutal.

	Rto. ton/ha	N del Fertilizante (kg/ha)	Inundación (efic.=0,25)	Surco (efic.=0,40)	Fertirriego (efic.= 0,60)
Manzano	70	32,0	128.8	80.5	53.6
Peral	60	36,5	146.8	91.8	61.2
Vid	30	31,0	123.2	77.0	46.2
Duraznero	30	43,5	172.4	107.8	71.8
Damasco	25	32,0	130.0	81.3	54.2
Cerezo	12	21,5	86.4	54.0	36.0

Los números del cuadro precedente están de acuerdo con la realidad de muchas regiones frutícolas del mundo. A excepción del cerezo, las dosis de N oscilan entre 100 y 150 kg/ha en perales y manzanos y de 120 a 200 kg/ha en duraznero.

## MANEJO DEL NITRÓGENO EN MONTES IMPLANTADOS

El nitrógeno interviene teniendo una marcada influencia en tres aspectos de los árboles frutales: el crecimiento vegetativo, el cuaje o producción de las plantas y la calidad de la fruta cosechada. El objetivo fijado en la nutrición nitrogenada de árboles frutales, además de maximizar la eficiencia de aplicación, es lograr frutos de calidad y rendimientos constantes año a año. Una excesiva fertilización nitrogenada conducirá a árboles demasiados vigorosos que van en detrimento de la producción y de la calidad de la fruta. Si bien ha sido observada una relación positiva entre el N y el tamaño de la fruta, no así con el color (Peterson & Stevens, 1994, Drake *et al.*, 2002). Además, los frutos con baja concentración de nitrógeno son menos susceptibles a decaimiento por podredumbres y desórdenes fisiológicos.

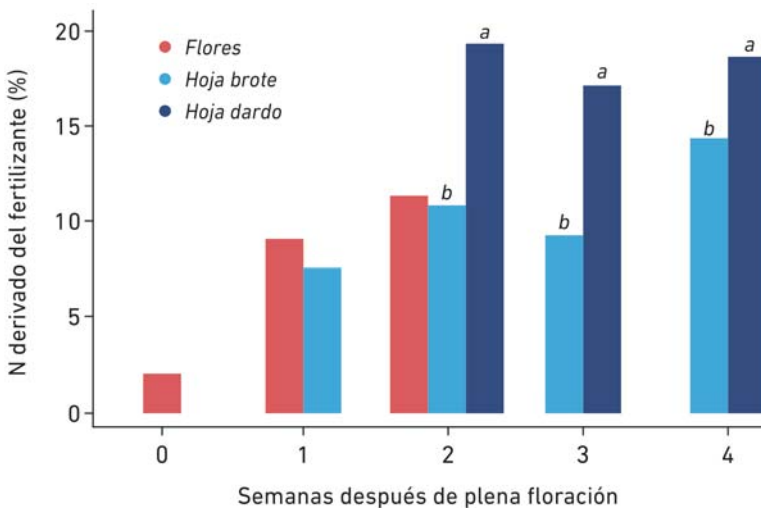
En términos muy generales el manejo del nitrógeno varía según la especie, variedad, carga de fruta y vigor. Más en detalle, se debe ajustar el programa de fertilización en base a otros aspectos de manejo como el riego y la poda.

### Fertilización nitrogenada en frutales de pepita

La siguiente guía ha sido elaborada en base a estudios a campo en perales y manzanos en base a estudios con el isótopo estable N15 de Sánchez & Righetti y de Khemira *et al.*, 1998 en la Universidad Estatal de Oregon. En todos los casos se enfatiza en la aplicación de dosis recomendadas, evitando excesos y/o aplicaciones no necesarias.

1. El desarrollo floral y la emergencia de los brotes en primavera depende casi exclusivamente del nitrógeno de reserva. Figura 8.1.

2. Aplicaciones de urea foliar temprano en la primavera pueden incrementar el área foliar de los dardos y el cuaje de frutos.
3. Aplicaciones de nitrógeno en primavera, promueven el desarrollo vegetativo y producen frutos con alta concentración de nitrógeno (Cuadro 8.10).
4. Aplicaciones foliares de urea hacia fines de la primavera o inicios del verano pueden retardar la obtención de color en las manzanas.
5. Aplicaciones de nitrógeno antes de la cosecha (aproximadamente 3 semanas) causan un incremento de reservas en hojas y parte aérea pero muy poco N se dirige hacia las hojas y frutos. Las yemas reciben adecuada cantidad de N y el crecimiento vegetativo en la primavera siguiente es controlado (Cuadro 8.11).
6. Aplicaciones de nitrógeno después de la cosecha, incrementan las reservas en las raíces pero poco N es transportado hacia la parte aérea de la planta o está disponible para el desarrollo de las yemas florales (Cuadro 8.11).
7. Aplicaciones foliares de urea en poscosecha, incrementan el N de reserva en la parte aérea de la planta y aseguran yemas florales de mayor calidad (Cuadro 8.12). Esta práctica es sumamente recomendable si la cosecha fue muy abundante y/o la concentración foliar de N fue inferior a 2,0 %. Sin embargo, aplicaciones foliares de urea por sí solas no son suficientes para nutrir convenientemente con N a la totalidad de la planta.
8. En el otoño, antes de la caída de las hojas, el N migra a los órganos de reserva y las yemas reciben un nivel adecuado.
9. Árboles con alto nivel de reservas de N, no necesitan ser fertilizados en la primavera siguiente.



**Figura 8.1.** Nitrógeno derivado del fertilizante en los nuevos tejidos de peral a partir de la floración. El fertilizante fue aplicado al suelo un mes antes de la floración (Sánchez *et al.*, 1990a).

**Cuadro 8.10.** Efecto de la época de aplicación del fertilizante nitrogenado en la concentración de Nitrógeno (% N) y el Nitrógeno derivado del fertilizante (%NDF) de las hojas del dardo, brotes y frutos de peral en el momento de la cosecha (Sánchez *et al.*, 1991).

Época de aplicación	Hoja de dardo		Hoja de brote		Fruto	
	%N	%NDF	%N	%NDF	%N	%NDF
Un mes antes de floración	1,87	30,1	1,99	32,2	0,50	32,9
Un mes después de floración	1,85	13,8	2,13	34,3	0,55	28,4
Un mes después de cosecha	1,72	-	1,90	-	0,44	-

**Cuadro 8.11.** Efecto del momento de aplicación de Nitrógeno en semanas antes y después de la cosecha (AC y DC) sobre la partición de N derivado del fertilizante en distintos tejidos de peral muestreados en la primavera siguiente al tratamiento (Sánchez *et al.* 1992).

Tejido	6AC	3AC	C	3DC	6DC
Hoja dardo	1,9 a	1,7 a			
Hoja brote	1,9 a	1,5 a			
Fruto	2,2 a	2,8 a			
Yema floral	8,8 ab	12,0 a	4,7 b	0,3 c	0,3 c
Raíces	20,4 b	23,1 ab	28,3 a	17,4 bc	12,2 c
Corteza tronco	9,4 a	9,8 a	6,2 a	0,0 b	0,0 b
Corteza ramas	9,9 a	11,0 a	6,7 a	0,0 b	0,0 b
Flores*	14,4 a	18,5 a	14,1 a	5,8 b	3,2 b

\* Letras iguales en la misma fila no difieren significativamente.

**Cuadro 8.12.** Concentración de N (%) en diversos tejidos de peral luego de aplicaciones de urea por vía foliar en pos-cosecha (Sánchez *et al.*, 1990b).

Tratamientos	Corteza	Madera	Yemas	Flores en la primavera siguiente
<b>Año 1987</b>				
Testigo	1,04 a	0,58 a	1,46 a	3,01 a
Urea 5%	1,14 b	0,75 b	1,66 b	3,29 b
Urea 10%	1,19 b	0,80 b	1,66 b	3,33 b
<b>Año 1988</b>				
Testigo	1,17 a	1,04 a	1,59 a	3,72 a
Urea 5%	1,24 ab	1,07 a	1,71 a	3,74 a
Urea 10%	1,28 b	1,26 b	1,71 a	3,80 a

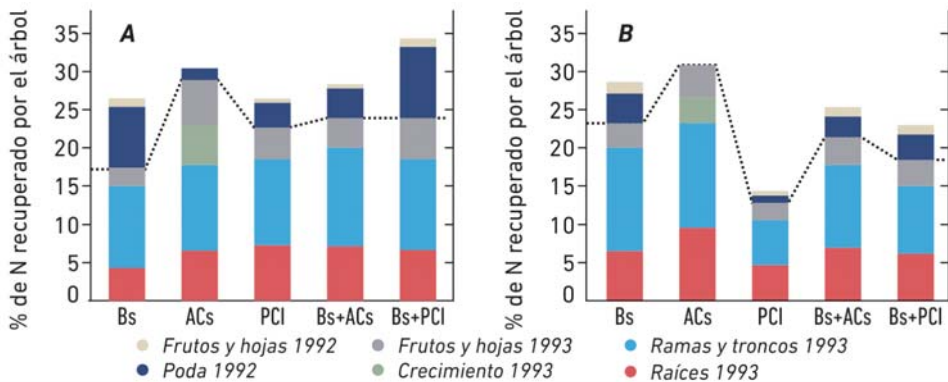
\* Letras iguales en la misma fila no difieren significativamente.

NUTRICIÓN MINERAL DE FRUTALES DE CLIMA Templado

INTA - EEA ALTO VALLE

Cualquiera de las opciones mencionadas, o sus combinaciones son válidas para la variada gama de situaciones que presentan las explotaciones frutícolas. Ninguna es superior a la otra, sino que deben interpretarse como opciones de manejo al alcance del técnico o productor. De lo expuesto, se deduce que no existe una época o momento ideal de fertilización nitrogenada y que es importante conocer la fisiología de la planta para tomar las decisiones correctas.

La aplicación de N en primavera, es una herramienta excelente para incrementar vigor y promover el crecimiento. Nótese que en el Cuadro 8.10, cuando el fertilizante nitrogenado es aplicado con posterioridad a la floración, una vez que las de los dardos ya están totalmente expandidas, el N se dirige a las hojas de los brotes promoviendo su desarrollo (hojas y madera del año). Mucho de ese N se va perder con la poda de invierno. Debido a que las aplicaciones primaverales de N se particionan preferentemente hacia el crecimiento de los brotes (madera del año), la mayor parte del N se pierde con la poda. Si se mide eficiencia como la cantidad del nitrógeno que queda en la planta luego de la poda, es evidente que las plantas recuperan mucho más N cuando éste es aplicado en pre o en poscosecha (Figura 8.2).



**Figura 8.2.** Porcentaje de recuperación del nitrógeno aplicado, en distintos tejidos de manzano cv. 'Red Delicious' tipo standard (A) y spur (B). Los tratamientos fueron 120 g de N/planta aplicados al suelo en brotación (Bs), 120 g de N/planta aplicados antes de cosecha (ACs), 60 g de N/planta como urea foliar en poscosecha (PCI), una aplicación dividida de 60 g de N/planta por suelo en brotación y antes de cosecha (Bs+ACs) y una aplicación dividida de 60 g/planta en brotación por suelo y 60 g de N/planta foliar en poscosecha (Bs+PCI). La porción recuperada por encima de la línea punteada representa la parte de N exportada en los frutos, hojas senescentes y ramas podadas. Por lo tanto, este nitrógeno no contribuye a las reservas de la planta (Khemira, 1995).

La fertilización de otoño es una excelente herramienta para reponer y acumular reservas, pero si existe una buena concentración foliar en el verano y el vigor de la planta es elevado, se debe prescindir de ella. Una aplicación en la situación descrita es más perjudicial que beneficiosa porque demora la entrada en senescencia y predispondrá a la planta a daños por heladas tempranas.

Es frecuente observar que plantas bien nutridas de nitrógeno mantienen las hojas verdes durante un período de tiempo más prolongado en el otoño. Por un lado este comportamiento es beneficioso en el sentido que las plantas pueden fotosintetizar más tiempo e incrementar sus reservas de carbohidratos. De Angelis et al. (2012) estudiaron el efecto de aplicaciones de nitrógeno en primavera y otoño por suelo (ambas a 100 kg N/ha) y el otoño por vía foliar (dos aplicaciones de urea al 2 %) sobre la entrada en senescencia de manzano cv. 'Royal Gala' (hábito de crecimiento standard) y 'Red Chief' (hábito de crecimiento spur) y un tratamiento testigo sin fertilizar. Se observó que los tratamientos en otoño mantenían la concentración de clorofila más elevada en las hojas durante el período anterior al reposo invernal en relación a las hojas de los árboles fertilizados en primavera y del testigo. Sin embargo, no hubo diferencias en la fecha de entrada en reposo invernal en ningunos de los tratamientos salvo en el último año, donde árboles del grupo testigo perdieron sus hojas más tempranamente, signo evidente de poseer menor nivel de nitrógeno en sus tejidos debido a la ausencia de fertilización en las tres temporadas. En síntesis, para ambos cultivares, los niveles de clorofila en los muestreos intermedios eran más elevados pero la fecha de caída total de hojas y entrada en reposo invernal no variaba.

### Influencia del hábito de crecimiento

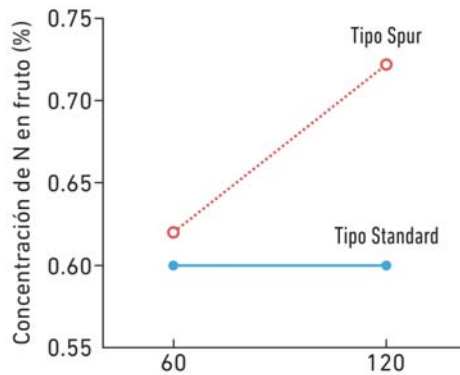
La partición de N en una variedad de manzano standard y otra spur, es diferente y en cierta medida se corresponde con la partición de materia seca. Hay diferencias muy obvias entre un hábito de crecimiento y otro. En una variedad de crecimiento dardífero, resalta a simple vista la baja proporción hoja/fruto y su menor masa estructural, mientras que en una variedad tipo standard la proporción entre hojas y frutos es más elevada como así también la cantidad de madera estructural.

En términos de nutrición nitrogenada, es comprensible pensar en que los frutos en una variedad spur son un destino importante de N; de hecho, los coeficientes de reparto del Cuadro 8.5. así lo demuestran. Por otra parte, es lógico pensar en que la menor masa estructural aportará menor cantidad de reservas al nuevo crecimiento primaveral. Este concepto ha sido probado por Khemira *et al.* (1998), quienes demuestran que las variedades como 'Redspur Delicious', son dependientes en mayor medida del nitrógeno del suelo en comparación a una variedad como 'Topred', de hábito standard.

Un aspecto fundamental a considerar, es la regulación interna del N en la planta frente a distinta disponibilidad del elemento en el suelo. Como se aprecia en la Figura 8.3, al duplicar la dosis de N agregado como fertilizante, la variedad spur responde incrementando la concentración de N en los frutos, mientras que en la variedad standard no sucede lo mismo. El distinto comportamiento entre las variedades radica precisamente en el hábito de crecimiento. Mientras que en la variedad 'Topred' la planta responde incrementando su masa foliar, en la spur, en cambio el nitrógeno se destina a los frutos.

Cualquiera de las opciones mencionadas, o sus combinaciones son válidas para la variada gama de situaciones que presentan las explotaciones frutícolas. Ninguna es superior a la otra, sino que deben interpretarse como opciones de manejo al alcance del técnico o productor. De lo expuesto, se deduce que no existe una época o momento ideal de fertilización nitrogenada y que es importante conocer la fisiología de la planta para tomar las decisiones correctas.

La aplicación de N en primavera, es una herramienta excelente para incrementar vigor y promover el crecimiento. Nótese que en el Cuadro 8.10, cuando el fertilizante nitrogenado es aplicado con posterioridad a la floración, una vez que las hojas de los dardos ya están totalmente expandidas, el N se dirige a las hojas de los brotes promoviendo su desarrollo (hojas y madera del año). Mucho de ese N se va perder con la poda de invierno. Debido a que las aplicaciones primaverales de N se particionan preferentemente hacia el crecimiento de los brotes (madera del año), la mayor parte del N se pierde con la poda. Si se mide eficiencia como la cantidad del nitrógeno que queda en la planta luego de la poda, es evidente que las plantas recuperan mucho más N cuando éste es aplicado en pre o en poscosecha (Figura 8.2).



**Figura 8.3.** Concentración de nitrógeno en frutos de manzanos con hábito de crecimiento tipo spur y standard fertilizados con 60 y 120 g de N por planta (Khemira, 1995).

El portainjerto también influye en la eficiencia del uso del N proveniente de la fertilización en función de su capacidad de absorción, tal como han estudiado Aguirre *et al.* (2001) comparando diez portainjertos enanizantes en manzano Gala. Dichos autores encontraron que los portainjertos M26, M27 y M9 fueron más eficientes en la absorción del N, mientras que los portainjertos Pajam 1 y Pajam 2 fueron los menos eficientes.

### Fertilización Nitrogenada en Frutales de Carozo

Para lograr una buena producción y crecimientos que aseguren el tamaño comercial requerido, es necesario recurrir al uso del nitrógeno prácticamente todos los años. Mientras que en los frutales de pepita a veces se puede prescindir del N, en duraznos y nectarinas es necesario fertilizar todos los años, aunque más no sea con dosis mínimas.

No se debe confundir la aplicación racional de N con la sobre fertilización que normalmente ocurre. En durazneros y nectarinas -por ejemplo- la fertilización fuerte con N tiene más desventajas que puntos a favor. Las consecuencias que acarrea el exceso de N son:

- Incremento de ramas fructíferas en número y longitud.
- Aumento en el número de chupones.
- Sombreado de la copa.



- Falta de coloración roja en los frutos.
- Atraso de la madurez en los frutos.
- En el largo plazo, muerte de ramas.
- Mayor susceptibilidad a ataques de hongos en la poscosecha.
- El tamaño de los frutos no aumenta en forma proporcional al nivel de N, salvo en los valores deficientes.

Siempre que se hable de fertilización, no puede quedar ausente la época de aplicación. En frutales de carozo, estudios en California revelaron que la eficiencia de las plantas para absorber nitratos es muy alta mientras el frutal tenga crecimiento, ya sea de brotes o frutos. En cambio, la absorción es muy baja antes de la brotación y luego que las hojas comienzan a amarillear.

En ciruelos, Weinbaum *et al.* (1978) haciendo uso de nitrógeno marcado, demostraron que el porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante en las flores es mayor a medida que la fertilización se acerca al período de cosecha del año anterior (Cuadro 8.13). Si se comparan estos resultados con los obtenidos en los frutales de pepita, se podrá apreciar una notable similitud en cuanto a la dinámica de absorción y destino del nitrógeno.

**Cuadro 8.13.** Porcentaje de nitrógeno derivado del fertilizante (%NDF) en las flores de ciruelo, según la época de aplicación del fertilizante. Los meses corresponden al hemisferio norte (HN) y sus análogas para el hemisferio sur (HS). (Weinbaum *et al.*, 1978).

Época de fertilización		Nitrógeno Derivado del Fertilizante en flores de ciruelo (%NDF)
Hemisferio Norte	Hemisferio Sur	
Marzo	Septiembre	11,0
Mayo	Noviembre	13,4
Julio	Enero	15,0
Agosto	Febrero	16,2

En frutales de carozo, el calibre de la fruta es un atributo muy importante de calidad. En este sentido, es esencial resaltar la importancia del nivel de reservas nitrogenadas de la planta por su impacto en el proceso de división celular.

En la fruta de carozo, es más importante el ajuste fino de la fertilización nitrogenada que en las peras o manzanas. La falta de nitrógeno atenta seriamente contra el crecimiento de la madera del año y el tamaño de la fruta, mientras que los excesos -como se ha visto- son tremendamente perjudiciales. El difícil arte de dar con la dosis apropiada requiere conocimiento y experiencia. El análisis foliar de N en frutales de carozo es una herramienta insustituible como valor de diagnóstico.

La mejor manera de fertilizar con N duraznos, nectarinas y ciruelos, es dividir en no menos de dos oportunidades la cantidad de fertilizante. En montes estabilizados se

debe insistir en las aplicaciones después de cosecha, dejando solo una dosis para la primavera, específicamente luego del raleo a manera de ajuste teniendo en cuenta el vigor y la carga frutal de la planta en ese momento. Desde el punto de vista de la calidad de la fruta, no se debería aplicar nitrógeno cuando exista poca carga en el árbol, pero la experiencia indica que una mínima cantidad de N en montes equilibrados no es perjudicial. En cambio en montes deficientes, cuanto antes se agregue el N mejor será la recuperación de la planta, sin importar en qué momento del año se realice (Niederholzer *et al.*, 2001).

En el cerezo, en cambio, importa partir con un buen nivel de reservas ya que es fundamental alimentar paralelamente a las hojas y los frutos. En este cultivo, donde hay escasos 60-70 días desde floración hasta cosecha, la planta no puede sufrir ningún tipo de estrés nutricional.

Como siempre se aclara, el fertirriego permite ir nutriendo a diario, cosa que no ocurre en manejos con riego gravitacional y agregado de fertilizante nitrogenado ya sea manual o con alguna distribuidora de fertilizante en superficie.

### Fertilización Nitrogenada en vid

Para fertilizar de manera racional el cultivo de la vid acorde a cada circunstancia y situación particular del viñedo o parral, es importante conocer la dinámica de nitrógeno en la planta. De los diversos estudios que tratan de la partición de nitrógeno, parece muy práctico y descriptivo lo publicado por Conradie (1991), en Sudáfrica.

Este investigador dividió el ciclo del cultivo en cuatro fases. La Fase I ocurre de brotación a floración y se caracteriza por ser una etapa con gran dependencia por el nitrógeno de reserva. El nitrógeno proveniente del suelo es lentamente absorbido por la planta a partir del estado de quinta o sexta hoja. La importancia del nitrógeno de reserva es tal, que al final del ciclo su contribución puede llegar a ser hasta un 20 % del total requerido por el cultivo.

La Fase II, va desde la floración hasta el envero. El nitrógeno total en la planta se incrementa notablemente en este período y la absorción del que está disponible por parte de las raíces, abastece sin problemas el crecimiento de hojas, brotes y frutos pero igualmente continúa la movilización del N de reserva. En esta fase los racimos acumulan casi el 60 % de su demanda total.

La Fase III, se sitúa en el envero y la cosecha. En este período, el nitrógeno acumulado en la estructura permanente de la planta, y en todo el crecimiento vegetativo hasta ese momento, es transportado a los racimos, que son un gran centro de consumo. Como la absorción de N es muy escasa en este período, la concentración de N en hojas y brotes disminuye. Sin embargo, en Alemania se informa que al comienzo de véraison hay un pico de absorción de N (Lohnertz, 1991).

La Fase IV, se sitúa entre la cosecha a brotación, aunque parece más razonable situarla entre cosecha y caída de hojas. En este lapso de tiempo la vid debe restablecer sus reservas nitrogenadas, mediante el reciclaje y nueva absorción. Antes de la caída de las hojas, cerca del 50 % del N total se removiliza a las estructuras permanentes. La absorción del N del suelo es muy importante y ocurre más intensamente cuando más largo sea el tiempo transcurrido hasta que las hojas se tornen amarillas. Las raíces son el principal sitio de reserva de N en la vid, secundado por el tronco y brazos.

Las cuatro fases describen bien la dinámica de nitrógeno en la vid. Para completar el concepto, sirve ilustrar la variación estacional de la absorción de N en, este caso se representa lo que acontece con la variedad 'Riesling' en Alemania (Lohnertz, 1991).

La Figura. 8.4 muestra que en la primera etapa de crecimiento la demanda de N en la vid es menor a 10 kg/ha, cantidad que representa apenas un 15 % del total absorbido a lo largo del cultivo. En cambio, a partir de la floración, la demanda por N es alta y esto se traduce en una intensa absorción que continúa hasta el envero.

La absorción de N entre floración y envero es muy alta, porque va de los 20 a los 70 kg/ha; es decir que esos 50 kg de N son tomados por la planta en un período relativamente corto de tiempo. La disminución de la cantidad de N en los órganos vegetativos luego del envero denota un transporte de éste hacia los frutos.

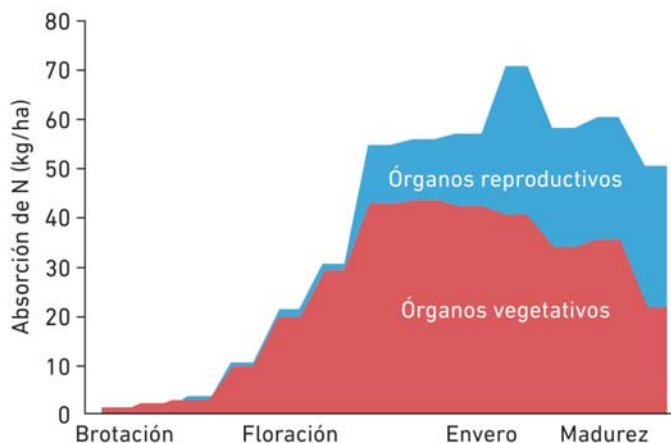


Figura 8.4. Variación estacional en la absorción de nitrógeno en vid cv. 'Riesling' (Lohnertz, 1991).

Teniendo en cuenta la dinámica del nitrógeno absorbido y el reciclado interno de la planta, se deduce que las fertilizaciones antes de brotación son ineficientes. En cambio, durante la Fase II y luego de la cosecha la absorción del N del suelo es muy importante por lo tanto es razonable realizar ajustes de fertilización en esos momentos.

El estado nutricional de la planta puede ser evaluado en la floración (período coincidente con alta demanda nitrogenada) ya sea midiendo el nivel de N o  $\text{NO}_3^- \text{N}$ , datos que se deben relacionar con el vigor de la planta y el rendimiento esperado. Donde no se riega, el nivel de  $\text{NO}_3^- \text{N}$  del suelo es una buena medida de diagnóstico, pero esta aproximación carece de validez donde se hace uso del agua de riego.

Las estrategias de fertilización son variadas. Por ejemplo, en situaciones de alto rendimiento acompañado con vigor suficiente, se puede optar por aplicar el N en cantidades mínimas en la floración o luego de la cosecha, pero si falta vigor y el suelo no puede proveer el nitrógeno necesario se debería recurrir a una fertilización a dosis completa luego de la floración, para permitir el crecimiento normal de los frutos. Entre estas dos situaciones, existen variantes para resolver los posibles casos que se puedan originar en el campo.

En términos generales, las épocas de aplicación se sitúan desde brotación a floración y con posterioridad a la cosecha. En los últimos años ha existido un cambio hacia la fertilización en otoño. En California, Christensen (1992) comparó el efecto de distintas épocas de aplicación de nitrógeno en 'Thompson Seedless' y concluyó que la fertilización después de la cosecha resultó en rindes más altos. Obviamente, las condiciones de California son óptimas para realizar una fertilización en poscosecha, en cambio en regiones con otoños más cortos, la acumulación de nitrógeno en estructuras permanentes ocurre con anterioridad a la cosecha.

A pesar de la importancia que revisten las reservas, la vid se diferencia de los frutales de pepita y carozo en el sentido que una gran parte de su estructura (y reservas) se poda anualmente. Por fortuna, el nitrógeno de los sarmientos que se podan en el invierno retorna al suelo y se recicla de manera muy efectiva.

El nitrógeno es un elemento a respetar. Por una parte, si no hay suficiente provisión la vid rinde muy poco, pero si existe apenas un leve exceso, la calidad enológica de la uva disminuye mucho. Más adelante se hará referencia a los efectos negativos en la planta y en el vino producto precisamente del exceso de vigor. Sólo baste mencionar que en los países donde existe la llamada "denominación de origen" de los vinos, existe una estricta reglamentación en cuanto a la cantidad máxima de producción por hectárea, en clara referencia a la relación opuesta entre cantidad de uva y calidad de vino.

Cuando el "leve exceso" de vigor producto de una generosa fertilización pasa a condiciones de exceso, las consecuencias para la planta y el viticultor son muy malas. En primer lugar, la falta de luz en las partes internas de la copa puede producir aborto de flores en la temporada (por lo tanto disminuye el rendimiento) y debilita las yemas de sarmientos ubicados en sectores sombreados.

En la uva de mesa, en cambio, donde el manejo de la copa y el racimo se intensifican, la fertilización nitrogenada es algo distinta. De hecho las consecuencias de una baja nutrición nitrogenada son mucho más graves que un leve exceso.

### Fertilización nitrogenada en Frutos Secos

En cultivos como el almendro, nogal, avellano o pistacho, la fertilización nitrogenada cumple la doble función de nutrir a las hojas y a los frutos. Este último aspecto se diferencia notablemente de los frutales de pepita y carozo, caracterizados por poseer frutos con baja concentración de N.

En contraposición, los frutos secos son mucho más complejos en su composición química, con elevado contenido de ácidos grasos que requieren síntesis con mucha demanda energética (y que son ricos en nitrógeno). Esta es la razón por la cual una planta de nogal o avellano alcanza rendimientos muy bajos en comparación a un manzano que posee frutos formados a través de azúcares muy simples que no demandan mucha energía para su síntesis.

El cuadro 8.14 refleja la composición de los frutos secos, enfatizando en los kilos por hectárea que son exportados en una cosecha normal. A esa cantidad se debería sumar lo requerido por la masa de hojas y el incremento de las estructuras perennes. Sin duda, altos rendimientos de pistacho o nogal requieren de dosis de nitrógeno que superan ampliamente las necesidades de la fruta de pepita y carozo (Weinbaum *et al.*, 1992).

**Cuadro 8.14.** Demanda de nitrógeno de los frutos en almendro, pistacho y nogal (Weinbaum *et al.*, 1992).

Especie	Rendimiento (ton/ha)	N removido por tonelada de fruto (kg/ton)	N removido por los frutos (kg/ha)
Almendro (Nonpareil)	1,7 - 2,8	35,3	60 - 100
Pistacho (Kerman)	3,5 - 5,5	26,2	90 - 140
Nogal (Chico)	4,5 - 6,5	17,9	80 - 120

**Almendro:** En almendro, haciendo uso de N-15, Weinbaum *et al.* (1984), informaron que cuanto más tarde se hacía la fertilización menor era la cantidad de nitrógeno que se recuperaba en las plantas de esa temporada pero mayor era la recuperación de nitrógeno en la temporada siguiente. Esto indica claramente que el almendro recupera mucho más nitrógeno en el año de aplicación, cuanto más temprano sea la fertilización, y a medida que se aleja de la brotación el nitrógeno se dirige más a las reservas para su utilización en la temporada siguiente. Si se compara y suma la cantidad total del N del fertilizante recuperado en el año de aplicación y en el siguiente, se verá que todas las fechas de aplicación son igualmente eficientes (lo que no se recupera un año lo hace al siguiente).

**Cuadro 8.15.** Porcentaje de N proveniente del fertilizante en el contenido total de N en hojas y frutos en la cosecha del año de aplicación del fertilizante (año 1) y en la cosecha del año siguiente (año 2) según el momento de aplicación del fertilizante que corresponde al hemisferio norte (HN) y sus análogas para el hemisferio sur (HS). Weinbaum *et al.*, 1984.

Época de aplicación		Año 1		Año 2	
HN	HS	Hoja	Fruto	Hoja	Fruto
Marzo	Septiembre	24,6	19,4	10,4	12,7
Marzo/Agosto	Sept/Feb	18,2	13,9	19,0	20,1
Junio	Diciembre	16,9	6,5	13,6	15,8
Agosto	Febrero	2,8	0,2	24,1	28,1
Diciembre	Junio	-	-	22,0	21,9

En variedades alternantes de almendro, se debe tener en cuenta que la cantidad de nitrógeno que absorbe la planta en el año "off" es muy grande y que gran parte de él se recicla en reservas. Por lo tanto, la cantidad de reservas de nitrógeno y de carbohidratos es mucho más importante que las que pueda disponer una planta que ha finalizado su temporada con un alto rinde de fruta.

La mayor demanda de nitrógeno ocurre en el período de rápida acumulación de materia seca del fruto. Al final, la pepita contiene el 98 % del total del mismo. En la última etapa del crecimiento del fruto, el pericarpio se comporta como una hoja senescente ya que los nutrientes minerales móviles migran a las reservas (Drossopoulos *et al.*, 1996).

En California, en un estudio reciente a campo realizado sobre 768 árboles, se informó que rendimientos de 18,5 a 23,7 kg por planta se corresponden con una fertilización de 309 kg/N por hectárea y una concentración de nitrógeno foliar del nivel de 2,4 - 2,5 % (Muhammad *et al.*, 2018). Los autores también estudiaron los niveles de fertilización de K y concluyeron que con niveles en hoja superiores a 1 % y con niveles en suelo de 100 a 150 mg kg<sup>-1</sup> de potasio intercambiable la aplicación de 112 kg ha<sup>-1</sup> era suficiente para alcanzar esos rindes cuando se aplicaba en forma conjunta con el nitrógeno. El alto rendimiento por árbol, era debido al aumento de frutos por planta a esa dosis de fertilizante

**Nogal:** El nitrógeno es el elemento más deficiente en plantaciones de nogales de Argentina y Chile. Los primeros síntomas de deficiencia se manifiestan en una reducción del tamaño de los brotes y las hojas; las cuales, a medida que avanza la estación de crecimiento y crece la demanda de nitrógeno en los frutos, se tornan amarillas. En casos extremos de deficiencia, los folíolos de las hojas basales se desprenden del raquis y los frutos son más chicos y maduran antes. Si la falta de nitrógeno no se corrige a tiempo, se compromete la cosecha de la temporada siguiente. En el cultivar 'Serr', se ha observado aborto de flores pistiladas, debido a un agotamiento de reservas de nitrógeno y carbono en el período de rápida expansión de las hojas (Deng *et al.*, 1991).

Los excesos de nitrógeno son más raros de ver, especialmente en plantaciones de baja densidad, donde la gran masa estructural amortigua los efectos de una esporádica sobre fertilización. De cualquier forma, la manifestación más clara de un exceso de vigor es la coloración verde oscura de las hojas y la longitud de los brotes. También se puede manifestar un franco atraso de la madurez de los frutos y una reducción notable en la concentración de aceite.

Weinbaum & Van Kessel (1998), estudiaron durante seis años el reciclado interno de nitrógeno en condiciones de campo. En plantas adultas, cerca del 50 % del contenido total de nitrógeno de las partes perennes de los árboles está presente con nitrógeno no estructural y disponible para ser reciclado en la temporada siguiente. En una plantación de baja densidad con plantas muy grandes, las reservas pueden proveer hasta el 60 % del nitrógeno total que se requiere en la temporada, el otro 40 % es tomado del suelo o del fertilizante en ese año.

Las plantaciones modernas de alta densidad, en cambio, requieren obligadamente un plan de fertilización nitrogenada para lograr precocidad en la producción de frutos. Se debe tener en cuenta que la fertilización nitrogenada debe ir acompañada por un correcto manejo hídrico y de la vegetación natural espontánea, que es ávida de agua y nitrógeno.

La fertilización tanto del nogal como del almendro debe considerar la época de mayor demanda de nitrógeno, cuando crecen los frutos, sin dejar de lado la necesidad de contar con un crecimiento de brotes que aseguren la buena provisión de carbohidratos y el llenado de los frutos (Bravo *et al.*, 2017). Por esta razón, es conveniente -en lo posible- dividir la aplicación a comienzos de la primavera y luego cuando los frutos cuajan. Otra es aplicar parte del nitrógeno a fines del verano (principios de marzo), momento en el cual se ha demostrado una mayor absorción y aprovechamiento del N aplicado para incrementar las reservas y asegurar una buena brotación y complementar cuando los frutos cuajan.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, P.B.; AL-HINAI, Y.K.; ROPER, T.R. & KRUEGER, A.R. 2001. Apple tree rootstock and fertilizer application timing affect nitrogen uptake. *HortScience*, 36(7), 1202-1205.
- BRAVO, K.; G. MARCOLINI; G. SORRENTI; E. BALDI; M. QUARTIERI & M. TOSELLI. 2017. Effect of time of application on nitrogen uptake, partitioning, and remobilization in walnut trees. *J. Plant Nutrition* 40: 719-725.
- CASTAGNOLI, S.; L. FUCHIGAMI; T. RIGHETTI & E. MIELKE. 1995. Nitrogen fertigation of apple nursery stock: Effects of application rate and cutoff timing on nursery stock size, dormancy development, natural defoliation, freezing tolerance, and spring regrowth. *Proceedings of the International Plant Propagator's Society* Vol 45, 339.
- CHENG, L. & WANG, H. 2011. Nitrogen fertilization has differential effects on red color development and flesh starch breakdown of 'Gala' apple. *New York Fruit Quarterly* 19 (3): 11-15.
- CHRISTENSEN, P. 1992. Nitrogen fertilizer rates, timing. *Grape Grower*, Octubre.
- CONRADIE, W.J. 1991. Translocation and storage of nitrogen by grapevines as affected by time of application. *International symposium on nitrogen in grapes and wine*, 101-111.
- DE ANGELIS, V.; E.E. SÁNCHEZ y J.A. TOGNETTI. 2012. La aplicación de nitrógeno en otoño retrasa la senescencia foliar en manzano (*Malus doméstica* Borkh). *RIA* Vol 38 (1) 55-62.
- DENG, X.; S.A. WEINBAUM; T.M. DE JONG & T.T. MURAKA. 1991. Pistillate flower abortion in "Serr" walnut associated with reduced carbohydrate and nitrogen concentrations in wood and xylem sap. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:291-296.
- DRAKE, S.R.; RAESE, J.T. & SMITH, T.J. 2002. Time of nitrogen application and its influence on 'Golden delicious' apple yield and fruit quality. *J. plant nutrition*, 25(1), 143-157.
- DROSSOPOULOS, J.B.; G.G. KOUCHAJI & D.L. BOURANIS. 1996. Seasonal dynamics of mineral nutrients by walnut tree fruits. *J. Plant Nutrition* 19 (2), 435-455.
- ECHEVERRÍA, H.E. & ROZAS, H.S. 2005. Nitrógeno. Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina, 69-95.
- FAUST, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. John Wiley & Sons, New York.
- GAO, Y.P.; H. MOTOSUGI & A. SUGIURA. 1992. Rootstock effects on growth and Flowering in young apple trees grown with ammonium and nitrate nitrogen. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(3) 446-452.
- GRASMANIS, V.O. & G.R. EDWARDS. 1974. Promotion of flower initiation in apple trees by short exposure to the ammonium ion. *Austral. J. Plant Physiol.* 1:99-105.
- KHEMIRA, H. 1995. Nitrogen cycling and partitioning in field grown apple and pear trees. Thesis. Oregon State University, USA.
- KHEMIRA, H.; T.L. RIGHETTI & A.N. AZARENKO. 1998. Nitrogen partitioning in apple as affected by timing and the growth habit. *J. Hort. Sci. Biotech.* 73:217-223.
- LOHNERTZ, O. 1991. Soil nitrogen and the uptake of nitrogen in grapevines. *International Symposium of nitrogen in grapes and wine*, 51-59.
- LOONEY, N.E.; R.P. PHARIS & M. NOMA. 1985. Promotion of flowering in apple trees with gibberellin A4 and C-3 epi-gibberellin A4. *Planta.* 165:292-294.

- MILLARD P. 1996. Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth. *J. Plant Nutrition and Soil Science* 159:1-10.
- MUHAMMAD, S.; B.L. SANDEN; S. SAA; B. LAMPINEN; D.R. SMART; K.A SHACKEL; T. DEJONG & P.H. BROWN. 2018. Optimization of nitrogen and potassium nutrition to improve yield and yield parameters of irrigated almond (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. webb). *Scientia Horticulturae*, 228:204-212.
- NEILSEN D.; MILLARD P.; NEILSEN G.H. & HOGHE E.J. 1997. Sources of N used for leaf growth in a high density apple trees in response to irrigation method and timing of N application. *Tree Physiology* 21: 513-521.
- NIEDERHOLZER, F.J.A., DEJONG, T.M.; SAENZ, J.L.; MURAOKA, T.T. & WEINBAUM, S.A. 2001. Effectiveness of fall versus spring soil fertilization of field-grown peach trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126(5), 644-648.
- SÁNCHEZ E.E.; RIGHETTI T.L.; SUGAR D. & LOMBARD P.B. 1990a. Seasonal differences, soil texture and uptake of newly absorbed nitrogen in field-grown pear trees. *J. Hort. Sci.* 65: 395-400.
- SÁNCHEZ E.E.; RIGHETTI T.L.; SUGAR D. & LOMBARD P.B. 1990b. Response of Comice pear trees to postharvest urea spray. *J. Hort. Sci.* 65: 541-546.
- SÁNCHEZ E.E.; RIGHETTI T.L.; SUGAR D. & LOMBARD P.B. 1991. Recycling of nitrogen in field-grown Comice pears. *J. Hort. Sci.* 66: 541-546.
- SÁNCHEZ E.E.; RIGHETTI T.L.; SUGAR D. & LOMBARD P.B. 1992. Effects of timing of nitrogen application on nitrogen partitioning between vegetative, reproductive and structural components of matura Comice pears. *J. Hort. Sci.* 67: 51-58.
- SÁNCHEZ, E.E.; H. KHEMIRA; D. SUGAR & T.L. RIGHETTI. 1995. Nitrogen management in orchards. En: Peter Bacon (ed). *Nitrogen fertilization in the environment*. Chapter 9, pag. 327-380. Marcel Dekker, New York.
- SHEAR, C.B. & M. FAUST. 1971. Nutritional factors influencing the mineral content of apple leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96:234-240.
- SILVA, H. & J. RODRIGUEZ. 1995. Fertilización en plantaciones frutales. Universidad Católica de Chile, 519 pág.
- TAGLIAVINI, M.; ZAVALLONI, C.; ROMBOLÀ, A.D.; QUARTIERI, M.; MALAGUTI, D.; MAZZANTI, F. & MARANGONI, B. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. *Acta Horticulturae* 512: 131-140.
- TAGLIAVINI M. & MILLARD P. 2005. Fluxes of nitrogen within deciduous fruit trees. *Acta Scientiarum Polonolum - Hortorum Cultus* 4: 21-30.
- TITUS, J.S. & S.M. KANG. 1982. Nitrogen metabolism, translocation and recycling in apple trees. *Hort. Rev.* 4: 204-246.
- TROMP, J. 1982. Flower-bud formation in apple as affected by various gibberellins. *J. Hort. Sci.* 57:277-282.
- WEINBAUM, S.A.; M.L. MERWIN & T.T. MURAOKA. 1978. Seasonal variation in nitrate uptake efficiency in non-bearing prune trees. *J. Amer. Hort. Sci.* 103: 516-519.
- WEINBAUM S.A.; I. KLEIN; F.E. BROADBENT; W.C. MICKÉ & T.T. MURAOKA. 1984. Effects of time of nitrogen application and soil texture on the availability of isotopically labeled fertilizer nitrogen to reproductive and vegetative tissue of mature almond trees, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 339-343.
- WEINBAUM S.A.; R. SCOTT JOHNSON & T.M. DEJONG. 1992. Causes and consequences of overfertilization in orchards. *HortTechnology* 2:112-120.
- WEINBAUM, S. & C. VAN KESSEL. 1998. Quantitative estimates of uptake and internal cycling of <sup>14</sup>N-labeled fertilizer in mature walnut trees. 1998. *Tree Physiology* 18 (12) 795-801.



*capítulo*

# 9

## FÓSFORO, POTASIO, MAGNESIO Y AZUFRE

Estos minerales, conjuntamente con el nitrógeno y el calcio, se clasifican como macronutrientes. La importancia de cada uno de ellos se discute someramente en términos prácticos de disponibilidad en el suelo y su rol en la planta. En un sentido más profundo, cada uno de ellos merecería un capítulo por separado, pero se intenta poner al alcance del lector conceptos claros que ilustran la relativa importancia de cada uno de ellos en la fruticultura moderna.

De todos, el potasio merece una mayor atención por ser altamente demandante en los frutales de pepita, carozo y frutos secos. Los otros de ninguna manera se menosprecian, pero su grado de compromiso en la actualidad es mucho menor. Mientras que las deficiencias de potasio comienzan a ser más frecuentes en regiones como el Alto Valle de Río Negro, otras como las de magnesio o fósforo, revisten menos importancia. Es más, cuando ocurren son provocadas por agentes externos más que por su carencia en el suelo.

## FÓSFORO

### Fósforo en el suelo

Contrariamente al nitrógeno que abunda en la atmósfera, las fuentes de fósforo son muy limitadas y son, ciertamente, un recurso no renovable. En el suelo se encuentra en forma orgánica e inorgánica, las cuales sufren transformaciones constantes como se ilustra en la Figura 9.1.

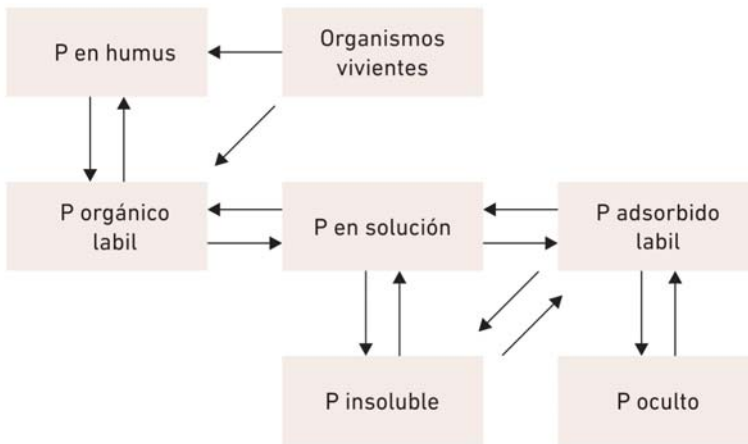


Figura 9.1. Transformaciones de fósforo (P) en el suelo (Fixen y Grove, 1990).

## Fósforo inorgánico

Comprende las formas químicas disponibles en la solución del suelo y los compuestos de fósforo asociados al calcio, hierro y aluminio. La fracción soluble es una mínima porción del fósforo inorgánico y se encuentra en cantidades del orden de las partes por billón. Las formas iónicas del fósforo soluble, dependen del pH y se encuentran en equilibrio con los otros compuestos inorgánicos. La máxima disponibilidad de P se observa usualmente en suelos ligeramente ácidos (pH 6-7). Las raíces prefieren el ion fosfato diácido ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) el cual predomina en suelos ácidos. Con pH por encima de 7,2 es importante la presencia de la forma fosfato mono ácido ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ).

Para el caso particular del fósforo, que es un elemento inmóvil, es muy importante el pH de la rizósfera (volumen de suelo que rodea a la raíz). La raíz tiene la particularidad de secretar ácidos orgánicos u otros compuestos que modifican el pH de la matriz del suelo, en un volumen que apenas supera el milímetro de espesor. En el caso de suelos como los del Alto Valle, que son de pH más bien básico, la rizósfera tiende a ser más ácida y puede mantener en disponibilidad la forma  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a pesar de que en apenas unos milímetros de distancia puede estar a muy baja concentración.

La baja disponibilidad del fósforo, hace que la solución del suelo deba reemplazarse varias veces al día para satisfacer la demanda de la planta. Cuando se aplica un fertilizante fosforado, la reacción con el suelo es inmediata y se producen precipitaciones que limitan la total disponibilidad del elemento. Se estima que apenas un 20 % del fósforo aplicado como fertilizante, está en condiciones de ser aprovechado directamente por las raíces. El resto pasa a formas menos disponibles que, a su vez, también dependen del pH. En suelos con pH cercano a la neutralidad los fosfatos de calcio son probablemente los dominantes.

## Fósforo orgánico

La porción orgánica, conforma una reserva fácilmente disponible (lábil) de fósforo. Su contenido en los suelos es variable dependiendo fundamentalmente del clima y la vegetación, pero se estima que en términos generales es del 30 al 50 %. La forma orgánica predomina en la porción superficial del suelo, en coincidencia con la distribución de la materia orgánica. Por ejemplo, en el Alto Valle de Río Negro, el mayor contenido de fósforo disponible se encuentra en el horizonte superficial y disminuye en profundidad asociado a con un aumento de arcillas y de carbonato de calcio (Peineman *et al.*, 1987).

## Fósforo en la planta

En las células, el fósforo se encuentra principalmente formando parte de compuestos orgánicos tales como las proteínas, enzimas, fosfolípidos de las membranas y ácidos nucleicos. Participa en funciones claves del metabolismo, como las reacciones de transferencia de energía. Las plantas deficientes en P presentan una menor expansión foliar, por lo que se incrementa la concentración de clorofila y la coloración verde oscuro de las hojas, especialmente las más nuevas.

A pesar de estar presente y participar de roles tan importantes, la cantidad requerida por los frutales es baja cuando se compara a otros macro elementos, como el caso del nitrógeno, potasio o calcio.

El requerimiento de fósforo está íntimamente relacionado a su concentración en los órganos de la planta y a la cantidad que se exporta en los frutos y en el material de poda. Las hojas tienen una concentración que varía desde 0,10 a 0,40 % sobre base seca, mientras que los frutos tienen una concentración inferior, del orden de 5-12 mg por cada 100 gramos de peso fresco. En el caso del manzano, se necesita una concentración mínima de 11 mg/100 g de peso fresco para obtener una fruta de buena calidad, ya que este nutriente ha sido relacionado positivamente con la firmeza del fruto (Sharpley, 1980). Este valor es representativo de una concentración promedio. En otras palabras, un fruto que pese 200 gramos contiene una cantidad aproximada a los 22 mg de fósforo, lo que equivale a decir que una tonelada de fruta fresca contiene aproximadamente 110 gramos.

La estructura permanente de la planta (ramas, tronco) tiene una concentración baja del elemento, en el orden de 0,04-0,09 % sobre base seca. En su conjunto, la cantidad de fósforo requerida por la mayoría de los frutales no superan los 20-25 kg/ha. Aproximadamente la mitad de esta cantidad es lo que efectivamente se llevan los frutos o queda indisponible en la estructura de los árboles, mientras que la otra mitad se recicla internamente en la planta debido a su carácter de elemento móvil (Stiles, 1994).

Silva y Rodríguez (1995) comparan distintas especies frutales y concluyen que las necesidades de fósforo, teniendo en cuenta un rendimiento comercial aceptable, varían de 9 a 24 kg/ha (Cuadro 9.1). El valor mínimo corresponde al cerezo y el máximo al nogal. De esta cantidad, lo exportado por el cultivo es mucho menor y varía entre 2 a 8 kg/ha. Tagliavini *et al.* (2000) también estimaron la demanda de los frutos con valores similares.

**Cuadro 9.1.** Demanda de fósforo por parte de los frutos y demanda total anual estimada de algunas especies frutales para un nivel promedio de rendimiento (a partir de datos de Silva y Rodríguez, 1995, Tagliavini *et al.*, 2000 y Scandellari *et al.*, 2010).

Especie	Rendimiento (t/ha)	Demanda Frutos (kg/ha)	Demanda Total
Manzano	50	5	11
Peral	60	5	17
Duraznero	30	8	17
Cerezo	12	2	9
Vid	20	5	11
Kiwi	30	7	-
Nogal	5	8	24

Las necesidades de fósforo a lo largo del año son más bien constantes. Al principio es requerido para formar la masa foliar y luego para el crecimiento del fruto. En consecuencia, la raíz suministra el fósforo en forma gradual a la parte aérea, siempre y cuando disponga de reservas de carbohidratos suficientes. Si la raíz crece sin limitantes físicas o químicas, no se debería esperar una carencia de fósforo en las hojas. De allí que ante la presencia de una supuesta deficiencia, se debe investigar, en primer término, la dinámica del sistema radical o la presencia de un pH de suelo limitante para su disponibilidad.

La respuesta a la fertilización con fósforo es más bien escasa en frutales, cuando éstos crecen en suelos bien estructurados y disponen de un sistema radical sano. Un factor muy importante a tener en cuenta en la nutrición fosforada es la presencia de micorrizas, las cuales favorecen la absorción de nutrientes. Cuando se esteriliza el suelo y se elimina la posibilidad de colonización de micorrizas, los frutales responden en mayor medida a la aplicación de fósforo (Sewell *et al.*, 1988). Con el tiempo la microflora del suelo se restablece y no se logran resultados tan notorios.

El manejo del riego es crítico, porque la falta de agua o su exceso, regula la demanda de la planta y restringe el estado metabólico del sistema radical. Cuando se riega por goteo y se limita el crecimiento de las raíces a un volumen muy chico de suelo, es de esperar respuesta a fósforo. En estas condiciones el fertilizante se aplica directamente en el agua de riego.

### Fertilización fosforada

El rol del fósforo en el crecimiento radical es muy importante en el primer año de plantación. En suelos de replante, la fertilización con fósforo suele mejorar el crecimiento inicial de la planta (Neilsen, 1994). En suelos del Alto Valle es aconsejable la aplicación de superfosfato triple (0-46-0) en el hoyo o sitio de plantación. Otra alternativa es la aplicación del monofosfato de amonio (11-52-0). En este último caso la respuesta de la planta puede deberse al fósforo, al nitrógeno o al efecto de la acidificación resultante en el suelo que facilita la disponibilidad de micronutrientes. Tanto el superfosfato triple como el superfosfato de calcio tienen la particularidad de acidificar el suelo.

En otros países se fertiliza antes de la plantación con cantidades elevadas de fósforo. Tal es el caso de la región de Ceres y Stellenbosh en Sudáfrica, caracterizada por poseer suelos poco profundos. En el proceso de preparación del suelo, el agregado de cantidades altas de fósforo suele ser una práctica natural y tiene el fin de suministrar el elemento durante varios años.

En montes adultos, es aconsejable realizar la fertilización con fósforo cubriendo el requerimiento plurianual cada 2-3 años. La misma debe hacerse en forma localizada, para minimizar su fijación en el suelo, incluso puede llegar a precipitar como fosfato de calcio en suelos calcáreos. Es importante aplicar el fertilizante en la zona radical, debido a que el fósforo es muy inmóvil en el suelo. La profundidad de aplicación es variable y depende de la herramienta que se utilice. Hay vertedoras de fertilizantes que localizan el producto a una profundidad de 15 a 20 centímetros. Cuando no se dispone de estos equipos se puede hacer un surco y luego fertilizar. En suelos donde se limita la labranza, en especial la rastra de discos, las raíces de los frutales se encuentran en superficie y bastan apenas unos 10 cm de profundidad para que la aplicación del fertilizante sea eficiente.

En el caso de contar con un sistema de riego presurizado, la fertilización con fósforo podrá realizarse con mayor frecuencia. Estudios recientes reportaron un incremento significativo en la producción acumulada de manzanos (+20 %) durante cinco años con una aplicación de 20 g de P por planta, como fosfato de amonio, en el momento de la floración (Neilsen *et al.*, 2008).

En la producción agroecológica, se suele rechazar la aplicación de fósforo de síntesis. Sin embargo, cuando se realiza una plantación esta práctica es fundamental para lograr en el primer año el desarrollo de un buen sistema radical. Los autores de este libro consideramos que en la fruticultura moderna se debe emplear el enfoque agroecológico, sin que esto impida la aplicación de nutrientes, ya sean orgánicos o de síntesis, cuando sean necesarios.

## POTASIO

### Potasio en el suelo

El contenido total de K en el suelo es usualmente alto, pero es necesario considerar las formas en las que se encuentra, para poder determinar cuánto de este nutriente hay disponible para las plantas. El potasio se encuentra en cuatro formas principales: como mineral primario; fijado en estructuras cristalinas de las partículas del suelo (micas, arcillas); intercambiable en la superficie de las arcillas ( $K_i$ ) y el soluble en la solución del suelo ( $K_s$ ). Estas cuatro formas se hallan en equilibrio y desde el punto de vista de la nutrición mineral de las plantas, es muy importante el equilibrio entre la fracción intercambiable y la soluble, ya que ambas fracciones conforman el “pool” de potasio disponible. Para ilustrar el concepto cuantitativamente, basta mencionar que para la mayoría de los suelos, la forma mineral de potasio (reserva) representa del 92 al 97 % del potasio total; el fijado comprende del 2 al 7,5 % y el disponible del 0,1 al 2 % del total (Prasad y Power, 1997). Las pérdidas de  $K_s$  por lavado no son importantes, ya que es un elemento poco móvil en el suelo. Las plantas absorben el K y producen una disminución en la concentración de  $K_s$ , lo cual genera una difusión del  $K_i$  adsorbido por las cargas de las arcillas y la materia orgánica.



**Figura 9.2.** Mecanismo de equilibrio de las distintas formas de K. (Barbazán *et al.*, 2014).

La fracción de potasio disponible varía según la textura del suelo. En suelos arenosos la reserva es mucho menor que en un suelo arcilloso. En el primero, la relación entre el potasio soluble y el intercambiable es mayor que en el segundo. Cuando se fertiliza con potasio en un suelo arenoso, se eleva muy fácilmente la concentración de la solución del suelo porque no existen suficientes cargas negativas que lo puedan retener. En cambio, en el suelo pesado, el poder de regular la concentración de potasio de la solución del suelo es mayor porque inmediatamente se establece un equilibrio con la forma intercambiable.

Desde el punto de vista de la nutrición mineral de las plantas, es importante destacar que en períodos de alta demanda de potasio, el suelo arenoso no es capaz de mantener una concentración más bien constante de la solución del suelo, como en el caso de un suelo con mayor contenido de arcillas (mayor capacidad de intercambio catiónico).

El clásico test para determinar la cantidad de potasio disponible, es a través de su extracción con acetato de amonio 1N a pH 7. Esta metodología se sigue en la mayoría de los laboratorios y permite comparar suelos de distintas regiones. La interpretación del análisis depende de la textura del suelo, ya que no tiene el mismo significado una concentración de 200 ppm de potasio intercambiable en un suelo arenoso que en uno arcilloso. Mientras que en el primer caso el valor representa un estado "alto" en el segundo puede ser "medio o bajo", según la cantidad y tipo de arcillas presentes. Si se considera que un nivel aceptable de potasio disponible se encuentra entre el 3-4 % de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, la concentración suficiente en partes por millón variará en consecuencia, como se indica en el Cuadro 9.2.

**Cuadro 9.2.** Concentración suficiente de potasio en el suelo, según la capacidad de intercambio catiónico.

CIC (meq/100 g suelo)	Concentración de K intercambiable (ppm)
5	60 - 80
10	115 - 155
15	175 - 235
20	235 - 310
25	290 - 390

El potasio llega a las raíces principalmente por difusión (70-80 %) y en menor medida, por flujo masal. Las raíces lo absorben en forma activa como ion  $K^+$ . En las plantas, es un nutriente sumamente móvil que puede ser transportado tanto por el xilema como por el floema.

### Potasio en la planta

El potasio tiene la particularidad de ser uno de los nutrientes que cuantitativamente se necesita en mayor cantidad en las células vegetales, a pesar de no formar parte de ninguna molécula orgánica. Es activador de numerosas enzimas, pero la cantidad requerida en estos procesos no explica su elevada concentración en hojas y frutos. El principal rol

del potasio es el de mantener la turgencia de las células. La apertura y cierre de estomas esta regulada por el contenido de potasio en las células guardianas. Un síntoma de su carencia, es precisamente la disminución de la transpiración por el cierre parcial de los estomas. En los frutales, la deficiencia de potasio, se traduce en menor crecimiento vegetativo y de los frutos. Precisamente, la expansión celular en los frutos, es una consecuencia de la acumulación de  $K^+$  en las vacuolas de las células.

La participación del potasio en la formación del pigmento antocianico es mencionada en algunos trabajos y dicha particularidad ha llevado a productores a fertilizar con cantidades elevadas de éste. No se discute la posible participación del potasio en la síntesis de antocianinas, pero es evidente que la coloración roja de la fruta depende de factores mucho más determinantes como el genotipo, la luz y la nutrición nitrogenada.

El potasio en el fruto se correlaciona positivamente con la acidez, probablemente debido a que para balancear la carga positiva del potasio en el citoplasma se deban sintetizar ácidos orgánicos, principalmente ácido málico. En cultivares de manzano sensibles a manifestar *bitter pit*, la fertilización con potasio debe estar muy bien justificada por la competencia que ejerce con el calcio.

La demanda de potasio se corresponde con la carga frutal. Los frutos contienen cantidades importantes de este elemento, a tal punto que es el nutriente que en mayor concentración se encuentra. La elevada demanda de potasio por componentes del crecimiento anual (hojas y frutos), hace que el suministro por parte del suelo deba ser constante. Estudios de partición y demanda de potasio confirman la importancia de la carga frutal tanto en manzano (Ludders, 1980), duraznero (Stassen *et al.*, 1983), ciruelo (Niederholzer *et al.*, 1991) o pistacho (Picchioni *et al.*, 1997).

Los frutos son un fuerte destino del K, por lo cual ante una demanda intensa, las hojas pueden disminuir en mucho su concentración si no existe un aporte por las raíces. Concentraciones entre 1,5-1,8 % de K en las hojas son consideradas adecuadas en la mayoría de las especies frutales. Siempre que se interprete un análisis foliar para este nutriente, se debe considerar el rendimiento actual y el de la temporada anterior, de lo contrario su valor es muy limitado. En ciruelo -por ejemplo- es posible determinar concentraciones en hoja tan bajas como 0,4 % en plantas deficientes con buena carga de fruta. Este valor jamás es alcanzado por el nitrógeno, en ninguna especie frutal, por más carga de fruta que exista en la planta.

La demanda anual de potasio en frutales de pepita y carozo depende del rendimiento alcanzado. Entre las diferentes especies y frente a rendimientos comerciales óptimos, se puede establecer que se destina a todos los componentes del crecimiento entre 75 y 120 kg/ha de potasio (Cuadro 9.3). De esa cantidad, los frutos representan el principal destino con entre el 50 y 65 % de la demanda de potasio; en tanto que las hojas sólo representan un 15-30 %. Parte del K contenido en las hojas se recicla y el resto se incorpora al suelo. Las estructuras permanentes del árbol no demandan grandes cantidades y es muy poco lo que se pierde por la poda. Similares demandas de potasio determinaron Scandellari *et al.*, (2010) en plantaciones modernas de manzano.



**Cuadro 9.3.** Demanda anual de potasio en Kg/ha en diversas especies frutales (modificado de Silva y Rodríguez, 1995, Tagliavini *et al.*, 2000).

Especie	Rendimiento (t/ha)	Concentración en fruto (Kg/t)	Fruto Kg/ha	Otros Kg/ha	Total Kg/ha
Manzano	60	1,0-1,4	56,5	32,5	89
Duraznero	30	2,0-2,6	80,0	41,0	121
Vid	25	2,0-2,8	47,5	29,0	76

Cuando se analizan los valores del Cuadro 9.3, salta a la vista la exigencia de los frutos por potasio, en particular el duraznero. Los frutos secos son también altamente demandantes de este nutriente. Informes publicados en pistacho, mencionan demandas anuales de 185 kg/ha para plantaciones adultas (Rosecrance *et al.*, 1996). La variación en la demanda de potasio es muy amplia si a la vez se compara su partición entre árboles con fruta (año "on") y sin fruta (año "off"). Ensayos en California en pistacho (Rosecrance *et al.*, 1996) y ciruelo europeo (Weinbaum *et al.*, 1996) denotan esta particularidad (Cuadro 9.4).

**Cuadro 9.4.** Partición de potasio (en gramos) en plantas de ciruelo cv. D' Agen y en Pistacho cv. Karman, según la carga de frutal.

Especie	Tronco y ramas	Raíces	Hojas	Frutos	Total
Ciruelo con fruta	43	12	101	361	517
Ciruelo sin fruta	96	21	167	145*	429*
Pistacho año "on"	486	418	264	877	2018
Pistacho año "off"	613	412	460	71	1556

\*Los árboles fueron raleados totalmente dos meses antes de la cosecha.

En pistacho, plantas sin carga debido a la alternancia, derivan más potasio al crecimiento de madera y hojas en comparación con árboles que presentan una producción normal. A pesar de ello, la demanda general del cultivo es mayor en casi 500 gramos de potasio por planta cuando están presentes los frutos.

En ciruelo el comportamiento es similar, con la diferencia de que en este trabajo se quitaron los frutos de un tratamiento dos meses antes de la cosecha. Es muy significativo el control que ejercen los frutos sobre la partición de potasio a otras partes de la planta, en particular a la estructura permanente y las raíces.

No se debe comparar a las plantas de ciruelo con las de pistacho ya que ambas difieren en la edad de la plantación (12 años para los ciruelos y 20 años para los pistachos) y en el tamaño de la planta, tal como lo evidencia la cantidad de potasio contenida en el tronco, ramas y raíces.

## Fertilización potásica

En plantaciones de alta densidad, las podas casi siempre se limitan al renuevo de madera, si lo que se poda se incorpora al suelo, el cálculo de una fertilización potásica de mantenimiento -a priori- equivaldría a la cantidad del elemento removida en la cosecha. Lamentablemente, en la práctica no es sencillo determinar la dosis adecuada de potasio debido a que la eficiencia de aplicación no es del 100 %.

Cuando se aplica potasio al suelo, una parte va a estar directamente disponible y otra parte se fijará a éste. El mayor o menor aprovechamiento de la fracción disponible en el corto plazo, dependerá de factores como la demanda de la planta, la presencia de raíces en la vecindad de la aplicación y la textura del suelo. Lo aconsejable es realizar ensayos regionales y medir la respuesta del cultivo en términos de crecimiento vegetativo y de concentración foliar.

La forma en que se realiza la aplicación es importante. Siempre conviene realizar una aplicación localizada, aún en suelos arenosos. En estos, se puede aplicar el fertilizante al voleo sobre la proyección de la copa e incorporarlo con rastra. Si bien no es recomendable el empleo de la rastra, se acepta este tipo de incorporación debido a que la fertilización por suelo no se realiza generalmente todos los años. En cambio, en suelos con mayor predominancia de arcillas es conveniente la aplicación localizada y bastan apenas unos 10 centímetros de profundidad para que la aplicación del fertilizante sea eficiente.

En plantaciones modernas con fertirriego, el potasio se puede aplicar anualmente y/o cuando los análisis foliares detecten niveles inferiores en el rango de suficiencia. Queda claro que, cuando se habla de fertirriego, a excepción de la aplicación nitrogenada, se hace referencia exclusivamente al riego por goteo. Se realiza esta aclaración debido a que se ha visto en microaspersión, fertirrigar con fósforo y potasio, aplicaciones que resultan en una muy baja eficiencia, aun en suelos de textura arenosa.

## MAGNESIO

### Magnesio en el suelo

La mayor parte del magnesio en el suelo se encuentra en forma mineral. La fracción intercambiable es importante, entre 5 y 20 % del total de la CIC según los suelos. En regiones áridas y semiáridas, la participación del magnesio en el complejo de intercambio excede normalmente el 10 %.

También se encuentra en gran cantidad en la solución del suelo y por lo tanto está sujeto al lavado. La presencia de otros cationes, en especial potasio y amonio, limitan la absorción del magnesio y compiten con él. Con frecuencia, la deficiencia de magnesio se asocia más a un desbalance con el ion potasio que a una falta de magnesio en el suelo.

### Magnesio en la planta

La necesidad de magnesio en plantaciones frutales es mucho menor que las de otros cationes como potasio y calcio. La demanda total por año y por hectárea es en el orden

de 20-40 kg. Como acontece con otros nutrientes minerales, las hojas y los frutos son los principales órganos demandantes de magnesio.

Se estima que alrededor del 20 % del total se encuentra en los cloroplastos, formando parte de la clorofila y activando a la enzima ribulosa bi-fosfato carboxilasa, que es la encargada de fijar el anhídrido carbónico. El resto se encuentra como ion libre asociado a aniones inorgánicos y orgánicos. La deficiencia en Mg afecta particularmente la funcionalidad de los cloroplastos y la tasa de fotosíntesis de las hojas de manzano expuestas a altos niveles lumínicos (Blackhall *et al.*, 2017).

Los frutos demandan una mayor proporción de magnesio que de calcio. Ante una falta, los árboles con más carga acusan más deficiencia, precisamente por la alta demanda de los frutos que terminan agotando a las hojas, causando clorosis especialmente en las hojas de las lamburdas con más de un fruto. Como el magnesio actúa en la síntesis y transporte de azúcares, una deficiencia puede llegar a afectar el tamaño final de los frutos. Los manzanos 'Fuji' y los perales 'Beurrè Bosc' son sensibles a la falta de magnesio y suelen manifestar síntomas de escasez en algunos árboles del monte frutal.

### Fertilización con magnesio

Las aplicaciones foliares de diversos productos de magnesio, son consideradas las más efectivas en corregir deficiencias. La fertilización por el suelo demanda una cantidad considerable de fertilizante y no consigue las respuestas inmediatas de la fertilización foliar.

En el Alto Valle de Río Negro, en un ensayo de corrección de deficiencia de magnesio en manzano 'Fuji', las aplicaciones foliares respondieron mejor que la fertilización por suelo (Sánchez, inédito). El ensayo se prolongó por dos temporadas y los tratamientos consistieron en tres aplicaciones foliares durante los meses de octubre, noviembre y enero. El suministro por suelo se evaluó únicamente en el primer año y consistió en la aplicación localizada del fertilizante alrededor del tronco y a unos 10 cm de profundidad en el momento de floración. Una particularidad especial, pero que resultó de gran significancia, fue el hecho de que en la primera temporada el monte de 'Fuji' estuvo bajo el efecto de un añerismo muy marcado y en consecuencia la floración fue prácticamente nula. En cambio la floración en el segundo año fue abundante y la carga de fruta óptima.

**Cuadro 9.5.** Corrección de deficiencia de magnesio en manzano cv. Fuji mediante fertilización foliar o por suelo (Sánchez, inédito).

Tratamiento	Composición (% Mg)	Concentración o dosis	Dosis total (Kg Mg/ha)*	Mg foliar (%)	
				1996	1997
Testigo	-	-	-	0,23	0,15
Lignosulfonato de Mg foliar	4	0,5 %	1,3	0,25	0,17
Nutra-Phos Mg Foliar	12	0,4 %	4,8	0,25	0,16
Sulfato de Mg foliar	11	1 %	8,8	0,35	0,21
Sulfato de Mg Suelo	11	300 kg	33	0,22	-

Como se aprecia en el Cuadro 9.5, la respuesta fue mejor en el año 1996 que coincidió con la falta de fruta. En cambio, en el año 1997, la respuesta no fue lo suficientemente buena, a tal punto que el tratamiento que mejor respondió no alcanzó para mantener la concentración de Mg en las hojas por encima del nivel crítico para manzano (0,24% según INTA Alto Valle). La aplicación por suelo no dio resultado y no se repitió en la segunda temporada. Además, la cantidad requerida de fertilizante es muy elevada en comparación con la aplicación foliar.

De las fuentes de magnesio ensayadas resultó mejor el sulfato, probablemente debido a que se aplica en más cantidad (8,8 kg) que las otras. Si se considera que las hojas y frutos demandan más de 20 kg de magnesio por hectárea, es de suponer que serán necesarios unos cuantos kilos para lograr elevar la concentración en las hojas. Si bien existen dificultades para elevar la concentración de magnesio en ellas, está claro que es posible dentro de ciertos límites. Del estudio en 'Fuji' se concluye lo siguiente:

- *A las dosis de referencia, el sulfato de magnesio es la fuente más efectiva y económica.*
- *El número de aplicaciones varía en función de la carga de fruta.*
- *En variedades susceptibles a la falta de magnesio, se deben realizar un mínimo de 3-4 aplicaciones foliares comenzando en octubre y continuadas cada dos semanas.*

En peral, se estudió la respuesta a la fertilización foliar con nitrato de magnesio (Mg 9,5 %) en el cultivar 'Beurrè Bosc' con buena carga de fruta. (Cuadro 9.6). Se realizaron tres aplicaciones foliares entre el 25 de noviembre y el 17 de diciembre y las muestras de hojas se tomaron el 18 de enero. Como se observa en el Cuadro 9.5, el fertilizante respondió satisfactoriamente a las concentraciones ensayadas.

**Cuadro 9.6.** Corrección de deficiencia de magnesio en peral cv. Beurrè Bosc con aplicaciones foliares de nitrato de magnesio (Sánchez, inédito).

Tratamiento	Mg foliar (%)	
	Hoja dardo	Hoja brote
Testigo	0,17 b	0,22 b
Nitrato Mg 0,5%	0,22 ab	0,28 a
Nitrato Mg 1%	0,25 a	0,28 a

Es de hacer notar que las hojas de los dardos presentan menor concentración de magnesio que las hojas de los brotes, debido probablemente a que los frutos toman magnesio de su cercanía; en cambio, las hojas de los brotes, por ser más abundantes, disminuyen menos su concentración.

Consecuentemente los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas de los dardos con carga de fruta (Foto 3, páginas centrales). En sectores cercanos donde no hay frutos, las hojas permanecen verdes y no manifiestan la característica clorosis.

Tanto las cultivares Fuji como Beurrè Bosc, al ser sensibles a la carencia de magnesio, manifiestan síntomas con concentraciones inferiores a 0,20 %. En los ensayos precedentes, las plantas del tratamiento testigo, mostraban deficiencias a partir de enero.

## AZUFRE

### Azufre en el suelo

De los llamados elementos mayores es el menos “popular”, a tal punto que la mayoría de los laboratorios hace caso omiso a su determinación en tejidos vegetales. En la Argentina, los análisis foliares de rutina no incluyen al azufre. En la región del Alto Valle de Río Negro, análisis exploratorios revelaron concentraciones consideradas normales para frutales, con algunas excepciones de niveles bajos. En Mendoza, la presencia de sulfatos es muy abundante en el agua de riego, asegurando una provisión natural del elemento. En otras regiones frutícolas, como en el Estado de Washington, existen antecedentes que mencionan manifestación de deficiencias (Peyrea, 1994).

El azufre se encuentra en el suelo en forma inorgánica y orgánica. La forma inorgánica es importante porque la mayoría del azufre se absorbe como ion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), pero se reconoce que la mayor reserva de azufre disponible para los cultivos se encuentra en la fracción orgánica.

En estado orgánico, sufre un proceso de mineralización similar al nitrógeno donde el producto final es precisamente el ion sulfato. La tasa de mineralización del azufre orgánico varía entre el 1 al 4 %, y depende de factores como la humedad y temperatura del suelo y de la relación carbono/azufre.

En suelos de regiones áridas y semiáridas, el contenido de sulfatos en el suelo garantiza su provisión por años. Muchos de estos sulfatos se encuentran en la forma de yeso, entremezclados con las partículas de suelo. En suelos calcáreos, se encuentra co-precipitado con el carbonato de calcio y bajo esta forma no se encuentra fácilmente disponible para las plantas. Muchos suelos del Alto Valle del Río Negro presentan esta característica.

El ion sulfato es móvil en el suelo y por consiguiente está sujeto al lavado. En regiones bajo riego, las pérdidas de azufre por esta vía, suelen ser importantes y de no existir reservas en el suelo (como yeso) o aportes a través del agua de riego, fertilizantes o enmiendas (orgánicas o yeso), su disponibilidad para los cultivos puede verse comprometida.

### Azufre en la planta

Cumple funciones como componente estructural de aminoácidos esenciales como la cistina, cisteína y metionina, coenzimas y grupos prostéticos. La falta de azufre, conduce a una disminución de la síntesis de proteínas y luego a la manifestación de clorosis. Un adecuado suministro de S incrementa la absorción de N, lo que determina que sea una herramienta para mejorar la eficiencia en la fertilización nitrogenada.

La demanda de los frutales por azufre se asemeja, en cantidad, a la demanda por fósforo. Al ser un elemento móvil en la planta, puede dirigirse a los brotes desde las hojas más viejas en caso de necesidad. De la misma forma, antes de la caída de hojas una fracción de azufre se recicla.

## Fertilización con azufre

La fertilización con azufre, hasta el presente, no se hace en forma directa sino que es una consecuencia del agregado de otros fertilizantes que lo contienen en su formulación. El ejemplo más clásico es el del sulfato de amonio, el sulfato de potasio o el superfosfato simple que son fuente muy importante de azufre. En regiones donde se emplean estiércoles como enmienda física y aporte químico de nutrientes, la provisión de azufre está garantizada. También el agregado de yeso en suelos salino-sódicos, aporta cantidades sustanciales del elemento.

En muchas regiones frutícolas con suelos que contienen calcáreo, el agregado de azufre representa una fuente importante aunque el objetivo principal no sea la fertilización sino la disminución del pH y la liberación de formas disponibles de fósforo, hierro, cinc y manganeso.

A excepción del sulfato de amonio, que se puede aplicar en superficie, las demás formas que contengan azufre conviene incorporarlas mecánicamente al suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- BARBAZÁN, M.M.; M.E. CONTI y F. GARCÍA. 2014. Potasio. *En*: Echeverría, H y F García (eds) Fertilidad de suelos y fertilidad de cultivos. Segunda Edición. Buenos Aires, Ediciones INTA pag. 265-285.
- BLACKHALL, V.; M. CURETTI; G.A. ORIOLI, y G.M. COLAVITA, 2017. Influence of the magnesium content in apple leaves photosynthetic capacity. *Acta horticulturae* 1217: 151-158.
- FIXEN, P.E. & J.H. GROVE. 1990. Testing soils for phosphorus. *Soil testing and plant analysis*, 3, 141-180.
- LUDDERS, P. 1980. Effects of time and amount of nutrient additives on nutrient status and distribution and on fruit quality. *En*: Atkinson, D., J.E. Jackson, R.O.
- NEILSEN, G.H. 1994. Phosphorus on replanted orchards. *En*: A.B. Peterson y R.G. Stevens (eds), *Tree fruit nutrition*. Good Fruit Grower, Yakima Chapter 7:71-77.
- NEILSEN, G.H.; NEILSEN, D.; TOIVONEN, P. & L. HERBERT, L. 2008. Annual bloom-time phosphorus fertigation affects soil phosphorus, apple tree phosphorus nutrition, yield, and fruit quality. *HortScience* 43: 885-890.
- NIEDERHOLZER, F.J.A.; R.M. CARSON; K. URIU; N.H. WILLITS & J.P. PEARSON. 1991. Seasonal partitioning of leaf and fruit potassium and fruit dry matter in French prune trees at various potassium levels. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:981-986.
- PEINEMAN, N.; C. ANDREOLI y E. SÁNCHEZ. 1987. Fracciones y dinámica del fosforo y potasio en suelos del Alto valle del Rio Negro. *Ciencia del suelo* 5:9-18.
- PEYREA, F.J. 1994. Sulfur nutrition in deciduous tree fruit. *En*: A.B. Peterson y R.G. Stevens (eds), *Tree fruit nutrition*. Good Fruit Grower, Yakima Chapter 9:83-84.
- PICCHIONI, G.A.; P.H. BROWN; S.A. WEINBAUM & T.T. MURAOKA. 1997. Macronutrient allocation to leaves and fruit of mature alternate-bearing pistachio trees.
- PRASAD, R.Y.; J.F. POWER. 1997. *Soil fertility management for sustainable agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 356 pag.
- ROSECRANCE, R.C.; S.A. WEINBAUM & P.H. BROWN. 1996. Assessment of nitrogen, phosphorus and potassium uptake capacity and root growth in mature alternate-bearing pistachio (*Pistacia vera*) trees. *Tree Physiol.* 16(11/12):949-956.
- SEWELL, G.W.F.; D.A. PREECE & R.F. ELSEY. 1988. Apple replant disease: the influence of soil phosphorus and other factors on the growth responses of apple seedlings to soil fumigation with chloropicrin. *Ann. Appl. Biol.* 113:605-615.
- SCANDELLARI, F.; VENTURA, M. y M. TAGLIAVINI. 2010. Net primary productivity and partitioning of absorbed nutrients in field-grown apple trees. *Acta Horticulturae* 868: 115-122.
- SHARPLES, R.O. 1980. The influence of orchard nutrition on the storage quality of apples and pears grown in the United Kingdom. *En*: Atkinson, D., J.E. Jackson, R.O. Sharples y W.M. Waller (eds). *Mineral nutrition of fruit trees*. Butterworths, London. Pag. 17-28.
- SILVA, H. y J. RODRÍGUEZ. 1995. *Fertilización de plantaciones frutales*. Universidad Católica de Chile, 519 pag.
- STASSEN, P.J.C.; M. DU PREEZ & J.D. STADLER. 1983. Reserves in full-bearing peach trees. Macro-elements reserves and their role in peach trees. *The Deciduous Fruit Grower* 33:200-206.
- STILES, W.C. 1994. Phosphorus, potassium, magnesium, and sulfur soil management. *Tree fruit nutrition: a comprehensive manual of deciduous tree fruit nutrient needs*. Yakima: Good Fruit Grower, 63-70.
- TAGLIAVINI, M.; C. ZAVALLONI y B. MARANGONI. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruit of deciduous trees. *Acta Horticulturae* 512: 131-140.
- WEINBAUM, S.A.; F.J.A. NIEDERHOLZER; S. PONCHNER; R.C. RESECRANCE; R.M. CARLSON; A.C. WHITTLESEY & T.T. MURAOKA. 1994. Nutrient uptake by cropping and defruited field-grown "French" prune trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119(5):925-930.

*capítulo*

# 10

## MICRO- NUTRIENTES



En árboles frutales y en suelos con pH cercano a la neutralidad o alcalinos, los micronutrientes son, a menudo, factor limitante de la producción. Se puede afirmar que, en fruticultura, este grupo de elementos esenciales son más deficitarios que los macroelementos, a excepción del nitrógeno. La importancia de la nutrición con elementos menores es obvia cuando se considera su rol dentro de la planta. La mayoría de los microelementos se hallan asociados a enzimas que regulan diversos procesos metabólicos, principalmente la fotosíntesis y la transferencia de energía (Cu, Mn, Fe, Zn, Cl).

## IMPORTANCIA DE LOS MICRONUTRIENTES

A continuación se sintetiza el rol fisiológico de cada micronutriente.

### Hierro

Es parte del grupo prostético de las enzimas nitrato reductasa, catalasa y peroxidasa. Sirve de dador y aceptor de electrones en la respiración. Más del 80 % del hierro de la planta se encuentra en los cloroplastos. Es un nutriente crítico en los frutales, especialmente en duraznos y nectarinas (Tagliavini & Rombolá, 2001).

### Cinc

Es parte integrante de la enzima anhidrasa carbónica y superóxido dismutasa. El cinc interviene como cofactor en muchas reacciones enzimáticas relacionadas con la síntesis de proteínas, fotosíntesis y mecanismos de protección en hojas y frutos contra las Especies Reactivas de Oxígeno (EROS). Se cree que participa en la síntesis de ácido indolacético. Es un elemento clave en la nutrición mineral de los frutales, que incide en el crecimiento vegetativo, la producción e incluso la calidad de los frutos (Swietlik, 2002).

### Manganeso

Actúa de manera muy similar al magnesio. Es activador de enzimas como la enzima málica, isocítrico deshidrogenasa y ARN polimerasa. Regula la permeabilidad de las membranas celulares. En menor medida que el hierro y cinc es deficiente en algunos suelos con pH elevado.

### Boro

Participa en el metabolismo de azúcares. Algunos reportes lo asocian también a mejorar el metabolismo del calcio en la planta. El boro puede aumentar la división celular o la síntesis de ácido nucleico en frutos en desarrollo. Es estabilizador de las paredes celulares. En condiciones normales, cerca del 95 % del boro de la célula se encuentra asociado a las pectinas de la pared celular. Mejora la calidad de la flor y fomenta el crecimiento del tubo polínico. Se ha comprobado su efecto positivo en incrementar el cuaje de los frutos y la calidad de los mismos, en frutales de pepita y carozo (Wojcik & Wojcik, 2006, Wojcik *et al.*, 2008).

### Cobre

Forma parte del grupo prostético de enzimas como la ácido ascórbico oxidasa y polifenol oxidasa. Favorece la lignificación de tejidos. No representa un problema serio en la fruticultura moderna ya que se necesita en muy baja cantidad. Una única aplicación de cobre contra enfermedades es suficiente para elevar su concentración en la planta por encima de su requerimiento nutricional.

### Molibdeno

Su importancia radica en que es un componente de la enzima nitrato reductasa, cuya función es reducir el nitrato a nitrito en hojas y raíces. Participa de la síntesis de proteínas y en la formación del polen. No existen informes en el mundo que demuestren respuestas a la aplicación de molibdeno en cultivos frutales.

A diferencia de elementos como el nitrógeno y el potasio, requeridos en grandes cantidades para que el frutal pueda crecer y desarrollarse con plenitud, los microelementos actúan en concentraciones del orden de las partes por millón. En consecuencia, la demanda anual es muy baja. Para ejemplificar basta citar que una cosecha de 70 toneladas de manzana requiere aproximadamente 200 gramos de boro, 120 gramos de cinc y apenas 30 gramos de cobre. A pesar de estos consumos minúsculos, a veces la disponibilidad en el suelo no es suficiente y el frutal presenta deficiencias.

La disponibilidad de micronutrientes en el suelo, y no la cantidad presente (que suele ser abundante), es el factor de mayor importancia en la nutrición de elementos menores. A excepción del molibdeno, que presenta una buena disponibilidad a pH alcalino, para el resto de los metales pesados, la máxima absorción por las raíces se da con pH de suelo entre 5,5 a 6,5. A un pH inferior a 5 la disponibilidad de hierro o cinc es elevada pero desafortunadamente los frutales que se tratan en este libro, no prosperan bien en condiciones de alta acidez. Por encima de la neutralidad, por cada unidad de pH la solubilidad de los metales pesados en el suelo, disminuye cientos de veces. Por tal motivo en suelos con pH cercanos a 8 es de esperar deficiencias de micro elementos especialmente en condiciones de alta carga de fruta.

Otros factores del suelo que condicionan la correcta nutrición de la planta con micronutrientes, son la compactación del suelo y el estrés de agua por defecto o por exceso de humedad en el perfil del suelo. En términos generales, todo factor que restrinja el crecimiento radical afecta negativamente la absorción de nutrientes, en especial aquellos que son inmóviles en el suelo.

## MANEJO DE LOS MICROELEMENTOS

El conocimiento del suelo previo a la plantación del monte frutal, también tiene validez para el caso de los microelementos. A pesar de que no se requiere conocer exactamente la disponibilidad de ellos, el análisis físico y químico del suelo permite predecir si en el futuro se tendrá algún tipo de problemas con la nutrición de elementos menores.

A continuación se resume para cada uno de los micronutrientes: factores relacionados a su disponibilidad en el suelo, absorción y transporte en la planta, y aspectos que tienen que ver con la nutrición misma de los frutales, como la eficiencia de los principales portainjertos y susceptibilidad varietal a manifestar deficiencias.

## HIERRO

La deficiencia de hierro en frutales nació con la fruticultura misma. No existe área cultivada en el mundo que no manifieste la característica clorosis asociada al hierro. La clorosis férrica ocurre en casi todos los valores de pH, pero es más evidente en suelos con pH alcalinos y ricos en carbonato y bicarbonato de calcio.

Con frecuencia la carencia de hierro en la planta está asociada a varios factores, entre los cuales se puede citar a los siguientes (Tagliavini & Rombola, 2001):

- 1) *Suelos alcalinos*
- 2) *Baja disponibilidad de hierro en la solución del suelo.*
- 3) *Presencia de carbonato de calcio en el suelo*
- 4) *Presencia importante de bicarbonatos en el suelo y en el agua de riego*
- 5) *Exceso de riego y capa freática elevada*
- 6) *Alta concentración de fosfatos en el suelo*
- 7) *Concentración elevada de metales pesados en la planta*
- 8) *Bajas o altas temperaturas*
- 9) *Elevada radiación solar*
- 10) *Alta concentración de nitratos en el suelo*
- 11) *Desbalance de cationes en el suelo*
- 12) *Pobre aireación del suelo y compactación*
- 13) *Virosis en la planta*
- 14) *Daño radical por nematodos u otros organismos*
- 15) *Bajos niveles de materia orgánica en el suelo*
- 16) *Producción muy elevada en la temporada anterior*

La sintomatología de la falta de hierro se visualiza con facilidad en las hojas apicales de los brotes. Mientras que las nervaduras permanecen siempre con una coloración verde, el espacio internerval va tornándose amarillento y blanquecino a medida que la deficiencia se agrava con el crecimiento de la hoja. Las hojas pueden también necrosarse en el verano, principalmente si han recibido tratamientos foliares de fertilizantes. El tejido afectado por un grado avanzado de clorosis es muy sensible y no resiste producto alguno, a veces los mismos tratamientos sanitarios provocan necrosis en las hojas blanquecinas.

### Hierro en el Suelo

Químicamente, el hierro en el suelo presenta dos estados de oxidación: la forma oxidada o  $\text{Fe}^{+3}$  (férrico) y la forma reducida o  $\text{Fe}^{+2}$  (ferroso). Una vez que el hierro se encuentra en estado de  $\text{Fe}^{+2}$  pasa rápidamente a la forma oxidada, que es muy insoluble en agua. Como es de suponer, en un suelo bien estructurado y con buena aireación, la forma predominante de hierro es el  $\text{Fe}^{+3}$ , lo que implica muy baja disponibilidad de la forma reducida que es la forma asimilable por las plantas.

La solubilidad del hierro en el suelo está gobernada por la disolución y precipitación de los óxidos e hidróxidos de hierro. La precipitación de los óxidos de hierro depende del pH y es mayor cuando más alcalina sea la reacción del suelo. En términos prácticos se considera que hay muy poco  $\text{Fe}^{+3}$  libre en el suelo cuando el pH es mayor a 7,5.

Por suerte, las raíces disponen de mecanismos para bajar el pH en la rizósfera (volumen de suelo que rodea a la raíz) y así modificar la disponibilidad de algunos nutrientes como el hierro o el fósforo por citar a algunos.

La presencia de carbonato de calcio en la zona radical origina iones bicarbonato los cuales son responsables directos de la clorosis férrica en frutales. El grado de finura del carbonato de calcio, tiene mucha influencia en la manifestación de la clorosis. El carbonato de calcio finamente dividido asociado a la arcilla y limo, conocido como “carbonato de calcio activo”, resulta ser más nocivo que las concreciones calcáreas.

### Absorción y Transporte

La forma de  $Fe^{+2}$  es la preferida por las raíces de las plantas dicotiledóneas y obviamente los frutales. Siendo el  $Fe^{+3}$  la forma de hierro predominante en los suelos, significa que la planta deberá, de alguna forma, reducir la forma oxidada para que ésta sea absorbida. La forma más común en lograr este objetivo, es la exclusión de  $H^+$  al medio exterior con el fin de bajar el pH e incrementar la solubilidad del  $Fe^{+3}$  y a la acción de la enzima hierro reductasa, que en la pared celular de la raíz convierte al  $Fe^{+3}$  en  $Fe^{+2}$ . De hecho, aquellos portainjertos eficientes en absorber hierro en condiciones adversas, emplean esta estrategia para nutrirse (Brancadoro *et al.*, 1997).

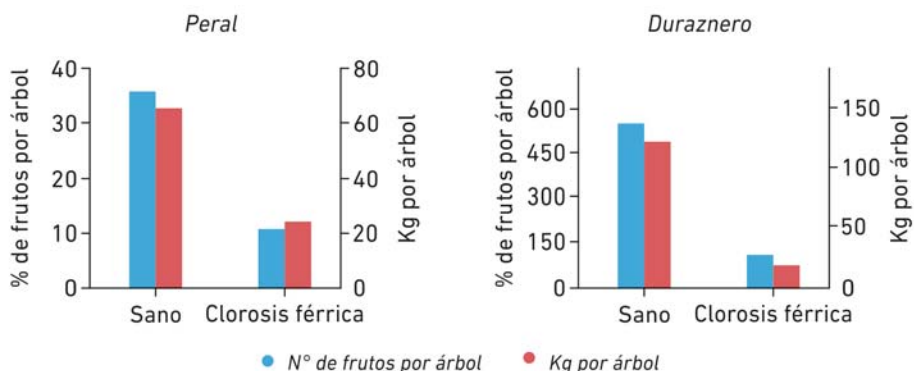
Una vez que el hierro está en el espacio interno de la raíz, se puede dirigir a la parte aérea en forma quelatada, normalmente como citrato férrico. En presencia de iones bicarbonato, el complejo precipita. En hojas cloróticas de vid, se comprobó que el transporte del hierro se inhibe desde el tejido vascular a las células intercostales. En consecuencia las nervaduras permanecen verdes, mientras que las hojas toman el clásico color amarillo (Abadía *et al.*, 2011).

La hoja clorótica disminuye su tasa de fotosíntesis afectando la productividad de la planta. Cuando la clorosis es provocada o inducida por los iones bicarbonato, el contenido total de hierro en la hoja llega a ser igual o mayor que en las hojas normales, este fenómeno es conocido como la “paradoja del hierro”. Esto se debe a que, ante la precipitación del hierro en la hoja, la planta reacciona absorbiendo mucho más (Cuadro 10.1). Además, la deficiencia de hierro altera la expansión foliar, lo que también se traduce en una mayor concentración de hierro en las hojas (Tagliavini *et al.*, 2000). Por estas causas, muchos laboratorios no informan valores normales de hierro ya que muchas hojas contienen valores normales estando cloróticas. En áreas frutícolas como el Alto Valle de Río Negro, donde la clorosis férrica es inducida, el mejor sistema de diagnóstico para hierro es la observación visual.

**Cuadro 10.1.** Concentración de hierro (ppm) en hojas cloróticas y sanas de peral y duraznero (Abadía, 1992).

	Hoja sana	Hoja clorótica
Peral	110 - 150	135 - 150
Duraznero	76 - 100	63 - 80

Se puede afirmar que no existe región donde se cultivan frutales de pepita y carozo exenta de deficiencia de hierro. Entre los frutales existe un orden de susceptibilidad que parte de duraznos y nectarinas, siguiendo por peral, kiwi, cerezo, ciruelo, damasco y manzano, que es considerado como el más tolerante (Tagliavini & Rombolá, 2001). Álvarez-Fernández *et al.* (2011) han determinado una importante reducción del rendimiento con clorosis férrica moderada tanto en perales como en durazneros (Figura 10.1).



**Figura 10.1.** Efecto de la clorosis férrica sobre la producción en árboles de perales y durazneros (Álvarez-Fernández *et al.*, 2011).

Dentro de cada especie, puede existir alguna diferencia varietal. Por ejemplo el peral ‘Williams’ es mucho más susceptible que los perales ‘Packhams Triumph’ y ‘Beurre D’Anjou’ (Sánchez, inédito). En duraznero, también se observa que las variedades tempranas son mucho más susceptibles a la clorosis férrica que las tardías.

Los portainjertos marcan una diferencia en cuanto a la manifestación de deficiencias. Tagliavini y Rombolá (2001) hacen una revisión bibliográfica del grado de susceptibilidad de los principales portainjertos de uso comercial (Cuadro 10.2).

**Cuadro 10.2.** Comportamiento de diversos portainjertos frente a la clorosis férrica (Tagliavini y Rombolá, 2001).

Especie/Portainjerto	Grado de susceptibilidad
<b>CEREZO</b>	
Mazzard F 12/1	Moderadamente susceptible
Mahaleb	Moderadamente susceptible
Híbridos	
Colt	Susceptible
GM 8	Muy susceptible
GM 61/1 Damil	Tolerante
GM 79 Camil	Moderadamente tolerante

Continúa en la página siguiente

Especie/Portainjerto	Grado de susceptibilidad
<b>CIRUELO</b>	
Mirabolano	Tolerante
Puebla de Soto	Muy tolerante
Damas 1.869	Tolerante
Híbridos	
Mr.S 2/5	Tolerante
<b>DAMASCO</b>	
Franco	Tolerante
Mirabolano B	Tolerante
Pixy	Moderadamente susceptible
Híbridos	
G.F. 8-1	Muy tolerante
G.F. 31	Moderadamente susceptible
<b>DURAZNERO</b>	
Franco	Susceptible
Nemared	Muy susceptible
Nemaguard	Muy susceptible
Ciruelos	
Brompton	Medianamente tolerante
Puebla de Soto AD 101	Muy tolerante
GF 43	Moderadamente susceptible
Mr.S. 2/5	Tolerante
Híbridos	
Adafuel	Muy tolerante
GF 677	Muy tolerante
Hansen 2.168	Tolerante
<b>MANZANO</b>	
M 9	Moderadamente tolerante
M 26	Susceptible
MM 106	Muy tolerante
MM 111	Moderadamente susceptible

Continúa en la página siguiente

Especie/Portainjerto	Grado de susceptibilidad
<b>NOGAL</b>	
Nogal común ( <i>J. regia</i> )	Susceptible
Nogal californiano ( <i>J. hindsii</i> )	Susceptible
Paradox ( <i>J. regia</i> x <i>J. hindsii</i> )	Moderadamente tolerante
<b>PERAL</b>	
Franco	Medianamente tolerante
OH x F 51	Tolerante
Membrillos	
BA 29	Susceptible
Adams	Muy susceptible
Sydo	Muy susceptible
<i>P. betulaefolia</i>	Moderadamente susceptible
<i>P. calleriana</i>	Moderadamente susceptible
<b>KIWI</b>	
Hayward (micropropagada)	Susceptible
Hayward (injertada)	Muy susceptible
D1, Bruno	Moderadamente susceptible
<b>VID</b>	
<i>V. berlandieri</i>	Tolerante
Híbridos <i>V. berlandieri</i> x <i>V. Riparia</i>	
225 Rugeeri	Moderadamente tolerante
S0 4	Moderadamente tolerante
Híbridos <i>V. berlandieri</i> x <i>V. Rupestris</i>	
775 Paulsen	Moderadamente tolerante
779 Paulsen	Tolerante
110 Richter	Moderadamente tolerante
<i>V. riparia</i>	Muy susceptible
<i>V. rupestris</i>	Moderadamente susceptible
<i>V. vinifera</i>	Muy tolerante

Como se puede apreciar, dentro de la susceptibilidad varietal existen alternativas manejando los portainjertos más convenientes. Obviamente, la elección de un portainjerto va más allá del aspecto nutricional y necesita de una evaluación integral. En regiones caracterizadas por poseer suelos con alto porcentaje de caliza activa, la única manera de cultivar duraznos y nectarinas es haciendo uso de portainjertos resistentes a la clorosis férrica, como primera medida.

## Fertilización

El enfoque tradicional para mitigar la clorosis férrica ha sido mediante aplicaciones foliares a base de quelatos de hierro. El uso del sulfato ferroso aun en bajas dosis, puede resultar en toxicidades en los frutos bajo ciertas condiciones climáticas, razón por la cual no es aconsejable su uso. Las aplicaciones foliares alivian parcialmente el problema ya que la recuperación de la coloración verde de las hojas no es uniforme. La inmovilidad del hierro hace que las aplicaciones foliares se deban suceder cada dos o tres semanas en variedades sensibles a la clorosis.

Nuestra experiencia indica que no se debe esperar a la manifestación del síntoma de deficiencia para comenzar con las aplicaciones. Se recomienda comenzar las aplicaciones foliares en el mes de noviembre. Cuando más se demora la oportunidad de aplicación, menor es la respuesta, a tal punto que hojas con grado extremo de deficiencia se necrosan cuando se aplica el fertilizante. Este comportamiento tiene bases fisiológicas, que se fundamentan en la incapacidad de la hoja en absorber y metabolizar el hierro cuando su funcionalidad es extremadamente baja, precisamente por acción de la clorosis.

Las inyecciones de sales de hierro al tronco y ramas es muy efectiva pero no muy práctica, ya que se debe incorporar el hierro en al menos dos sectores del árbol, proceso que demanda tiempo y esfuerzo. Cuando la clorosis se generaliza en varios cientos de plantas es prácticamente imposible de llevarlo a cabo.

En España, en suelos con cantidades elevadas de caliza activa se realizan aplicaciones por suelo de quelato de hierro (EDDHA), lo cual es eficaz pero muy costoso (Gil Ortiz y Bautista Carrascosa, 2005). Una técnica que ha dado buenos resultados para aliviar los síntomas de clorosis férrica ha sido la incorporación de orujos de vid o desechos de la industria de jugos concentrados con la adición de sulfato ferroso durante el invierno, en dosis de 1 a 2 kilos por planta repartidas en cuatro hoyos de 20-30 cm de profundidad.

En el Cuadro 10.3 figuran algunas de las fuentes de hierro más usuales de fertilizantes foliares cuya concentración de Fe suele situarse entre 4-6 %. En los marbetes la concentración recomendada es de 150 a 400 ml o g cada 100 L, según el fertilizante en cuestión, lo que equivaldría a un aporte de 10 a 30 g del nutriente por cada 100 L de caldo preparado.



**Cuadro 10.3.** Principales fertilizantes que aportan hierro.

Fuente de hierro	Fórmula	% de Fe (aprox.)
Sulfato ferroso	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	19
Quelatos	NaFeEDTA	5-14
	NaFeHEDTA	5-9
	FeEDDHA	6
Lignosulfonatos		5-8
Metalosatos		Variable

## CINC

De todos los microelementos, el cinc es posiblemente el más deficiente en los frutales, especialmente en manzano. Los síntomas de deficiencia de cinc en su estado más avanzado se manifiestan por el acortamiento de entrenudos y la presencia de hojas muy pequeñas, que dan un aspecto de roseta en las ramillas terminales ubicadas en la parte superior de la copa. Sin embargo, el síntoma de deficiencia más común es la forma alargada de las hojas, tanto de brote como de dardo, que disminuye el área foliar y la fotosíntesis.

### Cinc en el suelo

El contenido de cinc en el suelo varía de 10 a 300 mg/kg dependiendo del material originario. La cantidad total da una noción de la reserva potencial del mineral del suelo, pero desde un punto de vista práctico interesa mucho más su disponibilidad para satisfacer las demandas del cultivo. El cinc, como el hierro manganeso y cobre se encuentra en las siguientes formas.

- Es parte estructural de las arcillas y en este estado reviste muy poca importancia como nutriente porque no se encuentra disponible para la planta.
- Se adsorbe a las arcillas, por lo que está sujeto al intercambio catiónico.
- Forma complejos con los grupos fenólicos y carboxílicos de la materia orgánica.
- Está presente como catión libre en la solución del suelo, en el orden de las partes por billón.
- Se absorbe en los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio y al carbonato de calcio.

En el Alto Valle de Río Negro, donde la deficiencia de cinc es crónica en los frutales, fundamentalmente en manzanos, gran parte del cinc se encuentra inmovilizado en capas de suelo ricas en carbonato de calcio localizadas a los 30 o 40 centímetros de profundidad.

Las distintas especies químicas de cinc presentes en el suelo dependen del pH, como se observa en el Cuadro 10.4. El cinc y el cobre se asemejan mucho en su forma de absorción por las raíces y en la disponibilidad de la forma bivalente en función del pH del suelo. A pH 8, la actividad de  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$  es baja (1 % y 31 % respectivamente). A mayor pH, los ácidos húmicos se acomplejan al Zn y limitan su disponibilidad.

**Cuadro 10.4.** Efecto del pH, en la probable composición porcentual de diferentes especies iónicas en la solución del suelo (Harter, 1983).

pH	5	6	7	8
$\text{Cu}^{2+}$	100	96	33	1
$\text{CuOH}^+$	-	2	7	1
$\text{Cu(OH)}_2$	-	2	56	92
$\text{Zn}^{2+}$	100	98	83	31
$\text{ZnOH}^+$	-	2	17	64
$\text{Zn(OH)}_2$	-	-	-	5

Un aspecto importante a destacar por su implicancia en el equilibrio de micronutrientes en la planta, es la relación que existe entre ellos en el suelo. Altas concentraciones de cinc, fósforo y hierro en la solución del suelo restringen la absorción de cobre en las plantas. De forma similar, la concentración de cobre, hierro y manganeso inhiben la absorción de cinc. La causa aparente de estos antagonismos se originaría en la raíz, por competencia en los sitios de absorción.

### Absorción y Transporte

La forma química en que las plantas absorben cinc es el catión bivalente  $\text{Zn}^{2+}$  que predomina a valores de pH inferiores a 7. El transporte hacia la parte aérea de la planta ocurre en compañía de algún compuesto orgánico. Una vez que el cinc alcanza su lugar de destino, permanece allí y no se transporta en caso de ser requerido en otros sitios de la planta. Esta particularidad hace que el cinc se clasifique como un elemento inmóvil.

### Fertilización

En la fruticultura moderna, se debe tener especial cuidado en aplicar metales pesados al suelo. Antiguamente se realizaban pulverizaciones en invierno a dosis de 3 o 4 % de sulfato de cinc que significaban muchos kilos de este metal pesado por hectárea. Luego se fue abandonando esta práctica y se reemplazó por aplicaciones foliares en otoño y en primavera.

Con el advenimiento de nuevos productos, fue posible ampliar el período de aplicación a casi todo el año, sin riesgo de provocar toxicidad en hojas y frutos. En la actualidad, se pueden observar programas de fertilización con cinc provenientes de empresas

comerciales y universidades, donde se recomienda aplicar cinc en las cuatro estaciones del año. Sin embargo, existen estudios que dan cuenta de la eficiencia de aplicación según el estado fenológico del cultivo.

En British Columbia, Canadá, aplicaciones foliares de cinc próximas a la cosecha no incrementaron la concentración de cinc en las hojas a mediados del verano, como se muestra en el Cuadro 10.5.

**Cuadro 10.5.** Concentración promedio de cinc en hojas de manzano cv. Delicious tratados con diferentes productos en poscosecha y brotación. (Nielsen y Nielsen, 1995).

Tratamiento	Fertilizante	Dosis (g/ha)	Chacra 1 (ppm)	Chacra 2 (ppm)
Testigo			15,7	13,7
Poscosecha	ZnSO <sub>4</sub> (36 % Zn)	722	16,6	13,8
Yema dormida	ZnSO <sub>4</sub> (36 % Zn)	1.250	16,9	13,9
Yema hinchada	Zn50	240	17,2	13,2
Yema hinchada	Lignosulfonato (10 % Zn)	600 ml	-	13,1
Significancia			ns	ns

ns: Diferencia no significativa.

En lo referente a las aplicaciones de poscosecha, estudios con isótopos de Zn revelaron que a pesar de existir absorción por las hojas, la cantidad que se dirige a las reservas para ser utilizadas en la temporada siguiente es muy baja (Sánchez y Righetti, 1995). Por lo cual, prácticamente todo el cinc absorbido se cae junto con la hoja. Entonces, si las plantas deficientes no se fertilizan nuevamente en la primavera, manifestarán valores de cinc por debajo del rango de suficiencia.

El uso de isótopos permite diferenciar claramente la proporción del cinc en los tejidos que proviene del fertilizante aplicado. Como se muestra en el Cuadro 10.6, veinte días después de plena floración la cantidad de cinc en hojas y fruto que proviene del fertilizante aplicado en poscosecha, no alcanza ni siquiera el 3 % del cinc total de los tejidos, a pesar de que al inicio del ciclo de crecimiento la demanda de cinc es alta.

**Cuadro 10.6.** Concentración de Zn y porcentaje de Zn derivado del fertilizante en las hojas de los dardos, la feminela y frutos de manzanos Jonagold/EM26 (Sánchez y Righetti, 1995).

Tejido muestreado	Concentración de Zn (ppm)	Zn derivado del fertilizante (% del total)
Hojas de los dardos	30,3	2,6
Feminela del dardo	38,4	2,2
Fruto	53,1	2,7

Similares resultados se obtuvieron en durazneros en un estudio con isótopos estables realizado en California en plantas de duraznero cv. 'O'Henry' sobre Nemaguard donde se comparó la movilidad del nitrógeno proveniente de la urea y del cinc aplicado como sulfato (Sánchez *et al.*, 2006).

Ambos nutrientes se aplicaron en la cara superior de la totalidad de las hojas en el otoño, pintando cada una de ellas para cuantificar la cantidad exacta aplicada. En el invierno se excavaron cinco plantas, las cuales se separaron en raíz, tronco y ramas, y se cuantificó la cantidad de N y Zn proveniente de la aplicación foliar. Del total de nutrientes, se pudo recuperar el 47 % del nitrógeno aplicado pero sólo el 7 % del cinc. En la primavera se repitió el mismo procedimiento anterior excavando las plantas a las dos semanas y al mes después de la brotación y se analizaron los tejidos, incluyendo el nuevo crecimiento de los brotes.

De acuerdo a lo esperado hubo una gran proporción del nitrógeno de reserva en el nuevo crecimiento e igual fue el caso del cinc, donde la escasa cantidad recuperada fue igualmente movilizada. De esta investigación se concluye que el cinc aplicado antes de la caída de hojas es poco eficiente en ser transportado a las reservas de la planta (menos de 7 %) pero lo absorbido se moviliza a comienzo de la primavera a los tejidos en crecimiento.

De acuerdo a los estudios disponibles se justifica una aplicación otoñal de cinc cuando las plantas están en un estado deficiente, donde lo poco que se transporte a las reservas, pueda ser reciclado para el crecimiento inicial de la primavera. Para mantenimiento, son mejores las aplicaciones tempranas, a medida que se va desarrollando la copa y desarrollándose los frutos.

Se podría argumentar que esta respuesta puede variar con compuestos de cinc que son más eficientes que el sulfato. Para comprobarlo, se realizaron ensayos con otros productos como se ilustra en el Cuadro 10.7 dónde la respuesta fue similar. Las diferencias entre los tratamientos no fueron significativas a pesar de existir una leve diferencia favorable con respecto al control.

**Cuadro 10.7.** Aplicaciones foliares en poscosecha de distintas fuentes de cinc en manzanos cv. Golden Delicious sobre MM111 (Sánchez y Righetti, 1995).

Tratamientos	Concentración	Zn en ramilletes florales (ppm)
Testigo		54,7
Uniflow Zinc	500 ml/ht	57,7
Nutra Spray Zinc 50 (50 % Zn)	200 g/ht	58,5
Quelato de cinc (5 % Zn)	350 ml/ht	60,9
Sulfato de cinc (23 % Zn)	350 g/ht	61,4
Cloruro de cinc	200 g/ht	62,3

Se debe considerar que la aplicación de cinc no se hace de manera individual sino que se aprovecha la aplicación de algún otro producto, usualmente un insecticida o fungicida y este aspecto es de importancia para optimizar el consumo de combustibles fósiles. Igual manejo debería hacerse con la aplicación otoñal.

Ante casos de deficiencia es posible lograr una leve mejoría en la concentración de cinc de los ramilletes florales y pequeñas hojas a través de una fertilización de poscosecha pero de ninguna manera esa única fertilización puede mantener niveles óptimos de cinc en las hojas durante toda una temporada, a menos que se recurra a las aplicaciones de primavera.

Como regla práctica, el INTA Alto Valle recomienda aplicaciones antes de caída de hojas únicamente cuando la concentración de cinc en los meses de verano sea inferior a las 12 ppm. De lo contrario, las escasas reservas de la planta pueden satisfacer de cinc al nuevo crecimiento primaveral hasta el estado de caída de pétalos, momento en el cual se recomienda comenzar con la primera aplicación foliar.

La aplicación primaveral es la más eficiente de todas. Debido al gran rol que juega el cinc en lograr un buen tamaño de hoja, es importante aplicarlo lo más temprano posible. Mayor área foliar se corresponde con mayor fotosíntesis y mayor fotosíntesis se corresponde con mejor cuaje y rendimiento. Nuevamente, el carácter de inmóvil del cinc obliga a realizar al menos dos aplicaciones foliares para nutrir a las hojas que primero se desarrollan en los brotes y/o dardos, y posteriormente a las hojas que se suceden y que tienen el rol de alimentar a los frutos en las últimas etapas de su crecimiento.

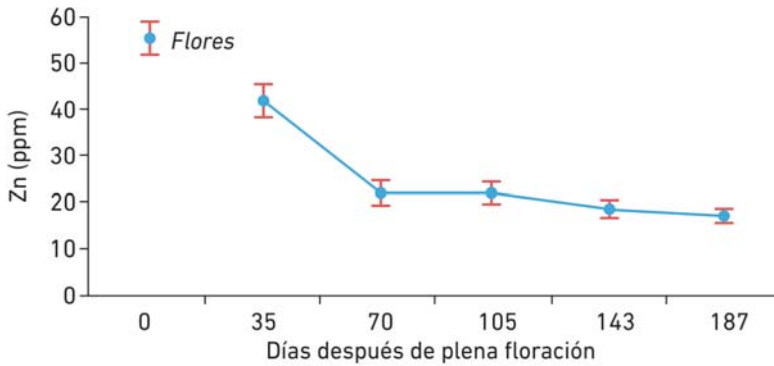
Nuevamente, estudios con isótopos de cinc revelan el carácter de inmóvil ya que no existe transporte alguno del fertilizante desde las hojas tratadas a aquellas que no lo fueron. En montes con deficiencias crónicas la aplicación foliar de cinc debería ser parte del programa anual de fertilizaciones.

En el Estado de Washington Frank Peryea (2006) estudió la aplicación de doce fuentes distintas de cinc en montes comerciales de manzano 'Golden Delicious'. Se aplicaron dos pulverizaciones por temporada, a mediados de la primavera a una concentración fija de cinc de 500 g/ha en el primer año o de 1 kg/ha en el segundo y tercero. Todos los productos fueron aplicados a las mismas plantas durante los tres años. La concentración de Zn en la hoja, aumentó en todos los tratamientos a niveles normales y altos. Sin embargo, cuando no se aplicaron en el cuarto año, las concentraciones en las hojas bajaron al mismo nivel que el de las plantas testigo que era de 12 a 14 ppm. Este comportamiento se debe precisamente a la baja movilidad del cinc en la planta, que no es capaz de acumular suficientes reservas y depende de las aplicaciones anuales.

En 2002, Sánchez y Righetti informaron que no es correcto el diagnóstico de la deficiencia de cinc cuando se analizan las hojas en el verano. En un estudio realizado en el Alto Valle de Rio Negro, en montes de perales 'Williams' de alto rendimiento, las concentraciones de cinc variaron de 12 a 16 ppm. El cinc parte con una elevada concentración en las hojas en la brotación y decae abruptamente con el transcurso de la temporada, probablemente por un efecto de dilución y/o por el transporte a los frutos y a otros órganos.

Siempre que los rendimientos sean sostenidos y exista un buen retorno de floración y correcta renovación de madera, concentraciones de 14 a 16 ppm en el verano no deben ser motivo de preocupación. Cuando se analizan en esas mismas plantas las hojas de los dardos, la concentración es siempre mayor a la de los brotes (Sánchez y Righetti, 2002). Este rasgo indica que la metodología diagnóstica para en cinc merece un estudio más profundo.

En la Figura 10.2 se grafica la variación estacional de cinc en duraznero a lo largo de la estación de crecimiento. Obsérvese que se parte de concentraciones de 57 ppm en las flores y de 43 ppm en las hojas pero decae a la mitad en el término de un mes. Esta dinámica es similar en perales y manzanos.



**Figura 10.2.** Variación estacional de la concentración de cinc en duraznero cv O' Henry (Sánchez y Righetti, 2002).

En el Cuadro 10.8 figuran algunas de las fuentes de cinc más comunes. En el mercado se comercializan distintos fertilizantes foliares de cinc a base de óxidos o sales (25-75 % Zn) y en formas de quelatos (4-10 % Zn). El aporte de Zn de los primeros suele ser superior al de estos últimos: 25-50 g respecto de 10-30 g por cada 100 L de caldo preparado. Sin embargo, la absorción y aprovechamiento de estos últimos por las plantas suele ser superior, compensando usualmente estas diferencias (Peryea, 2006). Por otro lado, aplicaciones foliares de sales como el sulfato de cinc, en ocasiones producen fitotoxicidad en frutos de algunos cultivares susceptibles de manzano como 'Golden delicious'.

**Cuadro 10.8.** Principales fuentes de cinc.

Fuente de cinc	Formula	% Zn (aprox.)
Sulfato de cinc monohidratado	ZnSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	36
Sulfato de cinc heptahidratado	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	23
Cloruro de cinc	Cl <sub>2</sub> Zn	48
Óxido de cinc	ZnO	78
Quelatos	Na <sub>2</sub> ZnEDTA	14
	NaZnHEDTA	9
Lignosulfonatos		5-8
Metalosatos		Variable

## MANGANESO

Los síntomas de deficiencia se presentan comúnmente en suelos con elevado pH y en plantas con buena carga de fruta. El manganeso, como se dijo, tiene la particularidad de sinergizar al cinc. Aplicación foliares conjuntas de cinc y manganeso en montes frutales sin deficiencias (más de 30 ppm en hojas de brotes durante el verano) han dado como resultado una mejor respuesta en la planta que la aplicación de cinc en forma individual. En la práctica la deficiencia de manganeso como tal no ocurre frecuentemente pero es indudable que una aplicación extra sinergiza al cinc y la planta responde mejor.

### Manganeso en el suelo

Existe una notable semejanza entre el Mn y el Fe en lo que respecta al comportamiento en el suelo y en la planta. En el suelo, ambos se encuentran como óxidos e hidróxidos en estado reducido. La disponibilidad de Mn en el suelo está directamente relacionada a su acidez. En tanto que la materia orgánica del suelo acompleja al Mn, facilitando su disponibilidad.

### Absorción y transporte

Al igual que el Fe, se absorbe en estado reducido ( $Mn^{+2}$ ). En la planta, una vez que llega al sitio de destino, permanece allí y no se moviliza en caso de una deficiencia.

### Fertilización

Las aplicaciones foliares con productos que contengan Mn, son efectivas en prevenir la deficiencia. Las fuentes más comunes de Mn se detallan en el Cuadro 10.9. Usualmente se encuentra incluido en los fertilizantes foliares de cinc: 15-25 % Mn en base a sales y 2-3 % Mn en base a quelatos.

**Cuadro 10.9.** Fertilizantes que aportan manganeso.

Fuente de manganeso	Formula	% Mn (aprox.)
Sulfato de manganeso	$Mn SO_4 \cdot H_2O$	24-26
Carbonato de manganeso	$MnCO_3$	31
Cloruro de manganeso	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	28
Oxido de manganeso	$MnO_2$	63
Quelatos varios	MnEDTA, lignosulfonatos	5-12

## BORO

Hasta hace poco tiempo, el boro no era considerado seriamente como elemento capaz de provocar pérdidas importantes de rendimiento. Sin embargo, juega un rol muy importante en la producción de frutas. Entre los frutales, el ciruelo y el peral figuran entre los que más acusan la deficiencia de este elemento. En ciruelo se constató que aplicaciones foliares en floración o luego de la cosecha incrementaron el cuaje y el rendimiento (Hanson y Breen, 1985).

En perales, existe una marcada tendencia varietal en la concentración foliar de boro. En el Alto Valle de Río Negro, la variedad 'Packhams Triumph' muestra valores más bajos de boro que las variedades 'Williams' y 'Beurré D'Anjou' (Sánchez, 1996). Precisamente 'Packhams Triumph' es una variedad que tiene problemas de cuaje en los primeros años, proceso donde el boro juega un papel principal

### Boro en el suelo

La cantidad de boro en el suelo varía ampliamente según el material original y el clima. Mientras que en regiones húmedas y con suelos bien drenados la concentración de boro es muy baja, en suelos de regiones áridas y semiáridas la cantidad presente en el suelo varía de normal a elevada, como ocurre en los suelos salinos.

El boro es móvil en el suelo y susceptible al lavado. Los suelos aluviales y en particular los de textura arenosa son bajos en boro precisamente por el intenso lavado al cual han sido sometidos. El agua de riego juega un papel clave en la disponibilidad de boro por cuanto representa un aporte importante del elemento. En el Alto Valle de Río Negro, suelos regados con agua de deshielo de la Cordillera de los Andes sufren carencia de boro, por la doble razón de ser el material originario bajo en este nutriente y porque además el agua contiene muy poco boro y sales en general.

Su forma soluble predominante en el suelo depende del pH. En aquellos con pH ácido o cercano a la neutralidad, predomina el ácido bórico ( $H_3BO_3$ ), mientras que, a mayor pH se van perdiendo sucesivamente los H<sup>+</sup> del ácido y aparecen las formas  $H_2BO_3^-$ ,  $HBO_3^{2-}$  y  $BO_3^{3-}$ .

### Absorción y transporte

Las raíces prefieren tomarlo en forma de ácido bórico, el que se transporta como tal a todos los sitios de utilización. Hasta hace unos años, el boro era considerado un elemento inmóvil en el floema de la planta, y por lo tanto las hojas más viejas siempre contenían mayor concentración que las nuevas, debido a la acumulación constante del elemento. Esto es así en cuanto a la dinámica del boro cuando es absorbido por las raíces, pero en especies de la familia de las Rosáceas, se comprobó que aplicaciones foliares de ácido bórico en poscosecha eran rápidamente absorbidas y transportadas a órganos de reservas (Picchioni *et al.*, 1995). En consecuencia se apreciaba un notable incremento, por ejemplo, en la concentración de boro en yemas florales y que además, su concentración entre hojas nuevas y viejas no era tan diferente. Estos datos llevaron a Hu *et al.* (1997) a estudiar el porqué de este comportamiento.



Las *Rosáceas*, donde se incluye a los géneros *Malus*, *Pyrus* y *Prunus*, tienen la particularidad de sintetizar sorbitol y transportarlo por el floema como azúcar predominante. En especies como la pera, manzana, durazno, cerezo, ciruelo, damasco o almendro, el sorbitol es el azúcar predominante y pasa de las hojas a los frutos donde se convierte en fructosa. Precisamente en la forma de complejo con el sorbitol el boro se mueve por el floema y toma el carácter de elemento móvil (Brown & Hu, 1996).

En cambio las especies que no utilizan al sorbitol como compuesto principal de transporte de azúcares como el nogal, pistacho e higo, por citar algunos ejemplos, no transportan el boro por floema con facilidad. En estas especies una alta disponibilidad de boro se manifiesta con síntomas de toxicidad en las hojas viejas. Obviamente, aplicaciones foliares con boro en estas especies no incrementan reservas al comportarse el boro como un elemento inmóvil. Por último, se ha observado que el olivo se comporta como una *Rosácea*, con la diferencia que el azúcar que forma el complejo con el boro no es el sorbitol sino el manitol.

### Fertilización

El boro, similar a lo que ocurre con el cinc, una vez detectadas deficiencias reiteradas, requiere ser aplicado todos los años mediante pulverizaciones foliares (Peryea, 2005). Siendo el boro un elemento importante en determinar la calidad de la flor y dada su elevada concentración en los granos de polen, las épocas de aplicación en flor o en poscosecha parecen muy lógicas. Siguiendo el razonamiento de la importancia de las reservas en suministrar nutrientes en las primeras etapas de crecimiento primaveral, las aplicaciones luego de la cosecha destinadas a incrementar reservas, son de suma utilidad práctica. Mientras que la aplicación de boro en flor suministra el nutriente en un momento oportuno, se debe tener en cuenta que, de existir una deficiencia de boro y con las yemas florales completamente desarrolladas, la aplicación en floración soluciona el problema sólo en forma parcial. Además, desde un punto de vista operativo la poscosecha ofrece más libertad para aplicar cualquier producto por vía foliar que la floración, donde se suele intervenir con otros productos para combatir plagas.

Haciendo uso de la técnica de isótopos estables, Sánchez *et al.* (1998) y Sánchez y Righetti (2005) investigaron la eficiencia de aplicación de boro en perales y manzanos aplicado por suelo y foliar en la poscosecha y en la primavera. Las conclusiones relevantes de los trabajos son las siguientes:

- El boro aplicado como ácido bórico (250-275 g/hl) por las hojas en poscosecha es eficientemente absorbido y transportado a los órganos de reserva de la planta, de donde se moviliza en la primavera para satisfacer la demanda del nuevo crecimiento.
- Aplicado por suelo en poscosecha, permanece mayormente en las raíces y es transportado hacia la parte aérea luego de la floración, por lo tanto no está disponible para las yemas florales ni flores.
- En perales, la incorporación de urea al 2,5 % en poscosecha mejora la absorción de boro mucho más que en manzano. En este último, la aplicación conjunta con urea se justifica si se pretende incrementar las reservas nitrogenadas.
- Las aplicaciones durante la primavera se transportan con preferencia a los frutos.

- La fertilización foliar en floración (30 % flores abiertas) admite como máximo una concentración de ácido bórico de 200 g/hl, siempre y cuando se aplique solo. En caso de una aplicación conjunta con otro producto se debe chequear su compatibilidad y se deberá disminuir la dosis al 50 %.

Como ocurre con la mayoría de los nutrientes, el análisis foliar es utilizado como herramienta de diagnóstico tradicional. Sin embargo según Peyrea (2005), en manzanos y perales, el análisis de boro en flores y frutos sería un mejor indicador. En la práctica, el análisis foliar responde como método de diagnóstico y como se expresara, una vez detectadas reiteradas deficiencias y evaluado respuestas para este nutriente en una región determinada, la aplicación de boro pasa a ser parte del programa nutricional anual.

Al igual de lo observado en estos estudios, Wojcik *et al.* (2008) encontró que las aplicaciones foliares de boro eran más efectivas en incrementar el cuaje y la producción en manzano respecto de las aplicaciones por suelo. Sin embargo, la aplicación por suelo de 2 g B por árbol al inicio de la primavera (yema hinchada) tuvo un mayor efecto en la calidad de las manzanas en la cosecha (Cuadro 10.10).

**Cuadro 10.10.** Principales fuentes de cinc.

Tratamiento	Cuaje (%)	Kg por árbol	Peso fruto (g)	Color rojo (1-5)	SS (° Brix)	Acidez (%)
Testigo	6,9 a	3,1 a	188 a	2,6 a	12,4 a	0,63 a
B suelo	7,2 a	4,2 b	226 b	3,6 b	13,6 b	0,72 b
B foliar	15,2 b	6,8 c	191 a	2,7 a	12,5 a	0,65 a

En el Cuadro 10.11, figuran algunos de los fertilizantes de boro más comunes. Además de los mencionados existe una gama amplia de productos sólidos y líquidos que combinan diversos nutrientes. Los fertilizantes de boro líquidos se originan de alguno de los mencionados en la tabla de referencia. En los marbetes la concentración recomendada es de 100 a 250 ml o g cada 100 L según el fertilizante en cuestión, lo que equivaldría a un aporte de 10 a 40 g del nutriente por cada 100 L de caldo preparado.

**Cuadro 10.11.** Fuentes de boro utilizados en los fertilizantes.

Fuente de boro	Formula	% de B
Ácido bórico	$H_3BO_3$	17,5
Solubor	$Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$	20,5
Borax	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	11,3

Cualquiera de los fertilizantes del cuadro 10.11 puede ser aplicado en el suelo o a través de la fertirrigación. Se prefiere la aplicación foliar, porque es mucho más segura en el sentido de que se evitan toxicidades. Las aplicaciones por suelo son igualmente efectivas pero resulta algo complicado distribuir uniformemente dosis de 1 a 2 kilos de boro en la hectárea (6-12 kilos de ácido bórico) de manera convencional. Además en las aplicaciones por suelo, una mala distribución del fertilizante hace que se pase de la suficiencia a la toxicidad. Aun en fertirriego es aconsejable tener extrema precaución en el aporte de este nutriente.

Una precaución a tener en cuenta cuando se disuelve un fertilizante, es la solubilidad del mismo. Mientras que el solubor es muy soluble, el ácido bórico puede causar alguna dificultad por la formación de grumos. Como regla práctica se aconseja disolver el fertilizante en agua con una temperatura no inferior a los 20 °C. A esa temperatura la solubilidad del bórax es de aproximadamente 4 g/l mientras que la del solubor es de 20 g/l.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ABADÍA, J. 1992. Leaf responses to Fe deficiency: a review. *J. Plant Nutrition* 15:1699-1713.
- ABADÍA, J.; VÁZQUEZ, S.; (...) & LÓPEZ-MILLÁN, A. 2011. Towards a knowledge-based correction of iron chlorosis. *Plant Physiology and Biochemistry* 49: 471-482.
- ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ, A.; MELGAR, J.C.; ABADÍA, J. & ABADÍA, A. 2011. Effects of moderate and severe iron deficiency chlorosis on fruit yield, appearance and composition in pear and peach. *Environmental and Experimental Botany* 71: 280-286.
- BRANCADORO, L.; L. VANOLI & G. ZOCCHI. 1997. Adaptive responses to high concentration of HCO<sub>3</sub> in Cabernet Sauvignon. *Acta Horticulturae* 427:75-82.
- BROWN, P.H. & H. HU. 1996. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. *Annals of Botany*, 77:497-505.
- GIL ORTIZ, R & I. BAUTISTA CARRASCOSA. 2005. Response of leaf parameters to soil applications of iron-EDDHA chelates in a peach orchard affected by iron chlorosis. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 36:1839-1849.
- HANSON, E.J. & P.J. BREEN. 1985. Effects of fall boron sprays and environmental factors on fruit set and boron accumulation of Italian prune flowers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110:389-392.
- HARTER, R.D. 1983. Effect of soil pH on adsorption of lead, copper, zinc and nickel. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:47-51.
- HU, H.; PENN, S.; LEBRILLA, C. & BROWN, P. 1997. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants (The mechanism of phloem mobility of boron). *Plant Physiology* 113: 649-655.
- NIELSEN, G.H. & D. NEILSEN. 1995. Tree fruit zinc nutrition. *En: A.Brooke Peterson y R.G. Stevens (Eds) Tree fruit nutrition.* Pag. 85-93. Good Fruit Grower, Yakima, Washington.

- PERYEA, F. 2005. Comparison of commercial boron spray products applied at the pink flowering stage on 'Fuji' apple. *Hortscience* 40: 1487-1492.
- PERYEA, F. 2006. Phytoavailability of Zinc in Postbloom Zinc Sprays Applied to 'Golden Delicious' Apple Trees. *HortTechnology* 16: 60-65.
- PICCHIONI, G., WEINBAUM, S. & BROWN, P. 1995. Retention and the kinetics of uptake and export of foliage-applied, labeled boron by apple, pear, prune, and sweet cherry leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120: 28-35.
- SÁNCHEZ, E.E. 1996. Determinación de estándares nutricionales en pera, manzana y uva de mesa. Plan de trabajo 1106. INTA Alto Valle.
- SÁNCHEZ, E.E. y T.L. RIGHETTI. 1995. Postharvest zinc sprays: are they effective? *Good Fruit Grower* 46: 52-53.
- SÁNCHEZ, E.E.; T.L. RIGHETTI & D. SUGAR. 1998. Partitioning and recycling of fall applied boron in Comice pears. *Acta Horticulturae* 475:347-354.
- SÁNCHEZ, E.E. & T.L. RIGHETTI. 2002. Misleading zinc deficiency diagnoses in pome fruit and inappropriate use of foliar zinc fertilizers. *Acta Horticulturae* 594: 363-368.
- SÁNCHEZ, E.E. & T.L. RIGHETTI. 2005. Effect of postharvest soil and foliar application of boron fertilizer on the partitioning of boron in apple trees. *HortScience* 40: 2115-2117.
- SÁNCHEZ, E.E.; S.A. WEINBAUM & R.S. JOHNSON. 2006. Comparative movement of labelled nitrogen and zinc in 1-year-old peach trees following late-season foliar application. *J. Hort. Sci & Biotech.* 81: 839-844.
- SWIETLIK, D. 2002. Zinc nutrition of fruit crops. *HortTechnology* 12: 45-50.
- TAGLIAVINI, M.; D. BASSI & B. MARANGONI. 1992. Growth and mineral nutrition of pear rootstocks in lime soils. *Scientia Hort.* 54:13-22.
- TAGLIAVINI M. & ROMBOLÀ A. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *European Journal of Agronomy* 15: 71-92.
- TAGLIAVINI, M.; ABADÍA, J.; ROMBOLÀ, A.; ABADÍA, A.; TSIPOURIDIS, C. & MARANGONI, B. 2000. Agronomic means for the control of iron deficiency chlorosis in deciduous fruit trees. *Journal of Plant Nutrition* 23: 2007-2022.
- WOJCIK P. & WOJCIK M. 2006. Effect of boron fertilization on sweet cherry tree yield and fruit quality. *Journal of plant nutrition* 29: 1755-1766.
- WOJCIK P.; WOJCIK M. & KLAMKOWSKI K. 2008. Response of apple trees to boron fertilization under conditions of low soil boron availability. *Scientia Hort.* 116: 58-64.

*capítulo*

# 11

## FERTILIZANTES QUÍMICOS APLICADOS VIA SUELO

## FERTILIZANTES QUÍMICOS APLICADOS VIA SUELO

El uso de fertilizantes naturales o sintéticos, es una práctica obligada en la agricultura intensiva, en especial en aquellos suelos de baja fertilidad que sustentan plantaciones modernas con alta densidad de plantas por hectárea.

La fertilización química nace con el sulfato de amonio y la cianamida cálcica. Hasta ese momento, la fruticultura basaba el aporte de nutrientes al suelo mediante el empleo de guanos o de fertilizantes naturales como el nitrato de sodio o salitre de Chile. Con el devenir de los años, muchos suelos experimentaron carencias de otros nutrientes como el potasio, magnesio o elementos menores, que exigieron la aplicación de fertilizantes específicos que podían corregir deficiencias en un tiempo relativamente corto.

En la actualidad existen cientos de formulaciones para distintos cultivos y situaciones, que por fortuna están al alcance del productor. Su uso, sin embargo, requiere de un correcto diagnóstico nutricional y del conocimiento integral de los suelos y el manejo del cultivo.

## CLASIFICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES

Los fertilizantes se pueden clasificar en un sentido amplio en productos simples, productos complejos, mezclas físicas, soluciones y suspensiones, bionutrientes, y también se podrían considerar las enmiendas minerales y orgánicas que aportan nutrientes (Melgar *et al.*, 1999).

**Fertilizantes simples:** Son aquellos que provienen de una única fuente química (por ejemplo: urea, cloruro de potasio, superfosfato, fosfato monoamónico).

**Fertilizantes complejos y compuestos:** Pueden ser obtenidos mediante una reacción química entre diversas materias primas que dan como resultado una concentración constante en cada gránulo de los elementos nutritivos primarios, secundarios y /o microelementos declarados en la fórmula.

**Mezclas físicas:** Son fertilizantes que contienen dos o más nutrientes primarios obtenidos a partir de la mezcla mecánica de dos o más fertilizantes (ejemplo el triple 15).

**Soluciones y suspensiones:** Son fertilizantes líquidos como el UAN (urea- nitrato de amonio) o formulaciones especiales que se fabrican a base de o más nutrientes primarios. En fertirriego son de uso común.

**Bionutrientes:** Son los ácidos húmicos, fúlvicos y los bioestimulantes. Son un complemento que suelen incluir en su presentación hormonas y micronutrientes. Se emplean principalmente como vigorizantes y estimulantes para sobrellevar situaciones de estrés.

**Enmiendas:** Son productos de naturaleza química u orgánica que al ser incorporados al suelo modifican favorablemente sus características físicas y/o químicas y/o biológica sin tener en cuenta su valor como fertilizante.

### Terminología

Los fertilizantes se definen por su grado, que es el porcentaje en peso de nutrientes primarios, expresado en números enteros, separados por guiones en el siguiente orden: Nitrógeno (N), Fósforo asimilable (P) y Potasio soluble (K). Por ejemplo, el grado 15-7-12 indica que el fertilizante contiene 15 % N, 7 % P y 12 % K. El grado equivalente es igual al anterior pero el fósforo asimilable se expresa como pentóxido (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y el potasio soluble como óxido (K<sub>2</sub>O). Entonces, el grado anterior pasa a ser 15-15-15. En algunos casos se incluye también el grado de nutrientes secundarios tales como azufre y magnesio, como es el caso del Sulfato de potasio y magnesio. Es importante hacer notar que actualmente, en los fertilizantes se tiende a expresar el contenido de los nutrientes por su concentración como elemento, es decir N, P y K. Sin embargo la cultura hace que sigamos nombrándolos según el grado equivalente, casos típicos son el 18-46-0 y el triple 15.

En materia de fertilizantes compuestos es importante diferenciar lo que es una mezcla química y una mezcla física. En la primera cada granulo de fertilizante contiene la misma composición que el resto, mientras que la formulación de mezclas físicas se obtienen mediante el agregado de distintos fertilizantes y material inerte (talco, dolomita etc.) para lograr completar el grado o análisis determinado. Existen otros tipos de inertes usados como acondicionadores, formando parte o bien recubriendo los gránulos que se agregan con el propósito de mejorar las condiciones físicas del fertilizante, para disminuir su higroscopicidad o para neutralizar las reacciones químicas de las mezclas.

Las formulaciones compuestas son útiles cuando uno quiere asegurar el suministro de varios nutrientes, aunque a veces los grados disponibles en el mercado no se ajustan a la realidad del cultivo o de la zona. En ese caso siempre se debe corregir con aplicaciones adicionales de otros nutrientes.

## FERTILIZANTES SIMPLES

### Fertilizantes nitrogenados

Los fertilizantes nitrogenados, se clasifican según el grupo químico en amídicos (urea), amoniacales, nítricos y nitro-amoniacales. También existen combinaciones entre los grupos, pero resultan de mezclas como lo es el nitrosulfato de amonio. En el cuadro 11.1, se mencionan los fertilizantes más comunes y sus características más sobresalientes.

**Cuadro 11.1.** Características de los fertilizantes nitrogenados.

Fertilizante	Formula química	Contenido N (%)	Solubilidad (g/l)	Equivalente de acidez*
Urea	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	46	1193	- 1.80
UAN	Urea+ NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	28-32		
Amoniaco anhidro	NH <sub>3</sub>	82		- 1.80
Sulfato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21	760	- 5.35
Nitrato de calcio	Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	15,5		+ 1.35
Nitrato de potasio	K NO <sub>3</sub>	13	316	+ 2.00
Nitrato de amonio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	33,5	1183	- 1.80
Nitrato de amonio calcáreo	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> -CaCO <sub>3</sub>	22-27		0.0
Sulfonitrato de amonio	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> -(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	26	970	- 3.50

\* Expresado en Kg de Carbonato de calcio por Kg de nitrógeno (Tisdale y Nelson, 1975).

Todos los fertilizantes nitrogenados son de alta solubilidad pero se diferencian, además del grupo químico, por la reacción que provocan en el suelo. El efecto acidificante de los fertilizantes nitrogenados se expresa mediante el índice de acidez o basicidad que indica si el número es negativo, la cantidad de carbonato de calcio necesaria para neutralizar la acidez que producen en el suelo. Tal es el caso de los fertilizantes amoniacales y la urea. En tanto, si el número es positivo, indica que en el suelo el fertilizante incrementa el pH. Algunas formulaciones como el nitrato de amonio calcáreo, tiene en su constitución carbonato de calcio que neutraliza el efecto acidificante del nitrato de amonio.

En suelos de pH ácido, se debe tener especial cuidado en incorporar fertilizantes que lo acidifican aún más. La reacción que determina el efecto acidificante de los fertilizantes amoniacales, es la oxidación del ion amonio a nitrito con la liberación de dos protones por ión oxidado como se muestra en la siguiente ecuación.



El siguiente paso de nitrito a nitrato es una simple oxidación sin cambio alguno en el pH del suelo.

### Principales fertilizantes nitrogenados

**Amoniaco anhidro:** con un 82 % N, representa la fuente de nitrógeno de mayor concentración que existe pero su uso en la fruticultura merece algunas consideraciones. En primer lugar, es necesario recurrir a equipos especiales de aplicación que inyectan el amoníaco en forma de gas, lo que implica que el suelo debe estar perfectamente nivelado y con un contenido de humedad apropiado, a efectos



de reducir pérdidas por volatilización. Si el suelo está muy húmedo o muy seco no se cierran los surcos y se producen pérdidas de gas. Una vez aplicado incrementa el pH a 9,0 en un radio aproximado de 10 centímetros.

Por la forma de aplicación no es posible regular la dosis aplicada en función del vigor de la plantación. La experiencia con este tipo de fertilizante en el Alto Valle de Río Negro ha sido satisfactoria, los montes tratados respondieron muy bien en cuanto al crecimiento vegetativo. Se hace la salvedad que el uso del amoníaco anhidro es aconsejable en montes uniformes y cuando se debe fertilizar una extensa superficie en muy poco tiempo.

**Urea:** la urea ha sido -y probablemente continúe siendo- el fertilizante nitrogenado más usado en fruticultura. En el suelo se comporta como un fertilizante amoniacal, luego que la enzima ureasa rápidamente la transforma en carbonato de amonio. La urea tiene la particularidad de ser no iónica y por lo tanto propensa a pérdidas por lavado antes que se produzca la transformación en carbonato de amonio. Si no se maneja bien el agua de riego o se aplica en suelos alcalinos, las pérdidas pueden ser considerables. El pH inicial alrededor de la zona de hidrólisis de la urea es muy alto, porque el carbonato de amonio es una sal que proviene de un ácido débil y una base fuerte, por tal razón la urea es un fertilizante que se debe manejar con mucha cautela en plantas muy jóvenes con sistema radical superficial y no suficientemente suberizado.

En el mercado se suele encontrar al menos dos tipos de urea: la granulada, que es apta para mezclas físicas (mayor resistencia al aplastado) y la cristalina que mejor se adapta a la fertirrigación o pulverización foliar por su bajo contenido de biuret y ausencia de antiaglomerantes. De todos los fertilizantes nitrogenados, es el que está sujeto a mayores pérdidas de N ya sea por lavado o por volatilización. Ninguna de las ventajas de la urea como su alta concentración de N y en consecuencia su bajo costo por unidad de N y sus excelentes condiciones de almacenamiento, justifican su empleo si se la maneja incorrectamente.

**UAN:** es un fertilizante líquido apto para fertirriego que se prepara a partir de urea y nitrato de amonio. El UAN es el fertilizante líquido más popular como fuente de nitrógeno. Es una solución nitrogenada que contiene entre 28 y 32 % de nitrógeno. Debido a que se produce de la mezcla de nitrato de amonio y urea; el UAN contiene nitrógeno en varias de las formas posibles: un 50 % de N-amídico, un 25 % como N-amoniacal, y un 25 % como N-nítrico. Es por esto que provee nitrógeno inmediatamente disponible, en la fracción nitrato, y nitrógeno con una mayor duración de la porción amonio y urea. La solución es corrosiva para ciertos metales (bronce o cobre) por lo que se la transporta y/o almacena en tanques de acero inoxidable, fibra de vidrio o PVC.

**Nitrato de amonio:** contiene en partes iguales los iones nitrato y amonio y es el fertilizante con más alto grado de nitrógeno como nitrato. A nivel mundial, existen dos tipos de nitrato de amonio, el de baja densidad, que se utiliza para la fabricación de explosivos en municiones o en minería, y el de alta densidad, que se utiliza en la industria del fertilizante y que tiene un comportamiento mucho más estable.

Por razones de seguridad, en Argentina no se comercializa nitrato de amonio puro como fertilizante. Sin embargo, existen plantas habilitadas en predios industriales, para formular fertilizantes líquidos a partir de nitrato de amonio, que cumplen con altas medidas de seguridad, según lo establecido por las autoridades gubernamentales competentes.

A nivel mundial existe la tendencia de reemplazar el nitrato de amonio puro por productos que contienen nitrato de amonio en distintas proporciones con otros fertilizantes en formulaciones tanto granuladas como líquidas. Estos fertilizantes no representan riesgos en el almacenamiento, distribución y aplicación en condiciones de campo.

**Nitrato de amonio calcáreo (CAN):** es un sustituto del nitrato de amonio en los países donde está prohibido su uso. Se origina a partir de la mezcla de nitrato de amonio y nitrato de calcio. Esta variante calcárea es de mejor conservación porque mejora mucho las condiciones físicas del fertilizante. Además es un fertilizante apto para suelos ácidos.

**Sulfato de amonio:** es la fuente nitrogenada que más acidifica al suelo por unidad de nitrógeno y lo hace apto para aquellos alcalinos, propios de muchas áreas frutícolas. Hasta hace poco tiempo se lo consideraba como enteramente nitrogenado, sin importar el aporte del elemento azufre. Sin embargo, en muchas regiones frutícolas el azufre está comenzando a ser un elemento deficitario. El contenido de azufre del fertilizante, es mayor que el contenido de nitrógeno y sufre pérdidas mínimas por volatilización.

En suelos arenosos, el sulfato de amonio es una excelente opción como fuente nitrogenada, en cambio en suelos con alto nivel de arcillas queda retenido en forma temporal. Sus propiedades lo hacen apto para integrar mezclas con otros fertilizantes. Posee muy baja higroscopicidad.

**Nitrato de calcio:** existen en el mercado dos calidades del producto: la común para cultivos extensivos y la superior para empleo en cultivos hortícolas y pulverización foliar. Ambos son muy higroscópicos y de fácil disolución, aun con la humedad ambiental. En suelos ácidos, es una excelente alternativa de nitrógeno, además de aportar el calcio que es siempre limitante. Se lo emplea mucho en fertilización foliar de manzanos para incrementar el contenido de calcio en los frutos.

**Nitrato de potasio:** es más bien un fertilizante potásico. Su costo hace que se lo reemplace por otras alternativas de nitrógeno y potasio en cuando la fertilización es convencional, pero en fertirriego es muy empleado por sus excelentes características.

**Sulfonitrato de amonio:** esta combinación resulta de mezclar en partes iguales el sulfato de amonio y el nitrato de amonio. En consecuencia la formulación tiene el 75% del N en forma amoniacal y el restante 25 % como nitrato. Este fertilizante da excelentes resultados principalmente cuando es aplicado en plantas jóvenes. Es de excelente conservación y muy fácil de trabajar.

## Consideraciones generales

A excepción de suelos con características muy particulares de textura y pH, la elección del fertilizante nitrogenado no debería ser motivo de mucho estudio. En suelos de textura muy arenosa, o por el contrario arcillosa, la formulación del fertilizante puede influir directamente en su aprovechamiento debido al riesgo potencial de lavado. Lo mismo sucede en suelos muy ácidos o por el contrario, alcalinos, que requieren el ajuste de una fuente nitrogenada que minimice pérdidas por volatilización o tenga un efecto en el cambio de pH del suelo.

Mientras que los nitratos están disponibles desde el momento mismo de alcanzar la rizosfera, la urea o las fuentes amoniacales deben sufrir una transformación previa a su absorción masiva, que depende de la temperatura del suelo. Por debajo de 15 °C la aparición de nitratos es lenta y la conversión total de la urea y las fuentes amoniacales puede demorar algo más de 20 días; en cambio entre los 15 y 25 °C de temperatura la transformación a nitratos se completa en 10 a 15 días. Estos plazos deben tomarse como mera referencia, debido a los variados factores que intervienen, pero como regla general se puede decir que la aparición de los nitratos puede comenzar a los pocos días de incorporar el fertilizante y concluye a las dos o tres semanas. Por fortuna, el proceso de transformación es gradual y siempre existe una reserva de amonio que resiste el potencial lavado provocado por una lluvia o un riego a los pocos días de sucedida la fertilización.

En suelos con pH en el rango de 6 a 7,5 no existe una preferencia clara por tal o cual fertilizante. Sin embargo, a un pH superior a 7,5 es aconsejable el empleo de fertilizantes amoniacales. En el caso que sea la urea hay que tener cuidado de cómo se aplica porque las pérdidas por volatilización se magnifican.

La variación de pH, aunque sea muy localizada y de poco efecto en el pH general del suelo, conlleva tanto a disolver como a aumentar la disponibilidad del fósforo y microelementos, en particular hierro, cinc y manganeso. En suelos de regiones áridas o semiáridas bajo riego, no es de esperar en el largo plazo una disminución sustancial de pH, ya que en esos suelos el aporte de sales a través del riego y el consecuente lavado de bases neutralizan la acción acidificante del fertilizante.

Por el contrario, fertilizantes como el nitrato de calcio y potasio, incrementan el pH del suelo y son empleados con preferencia en suelos de reacción ácida. Donde falta calcio, la combinación con el nitrógeno es casi obligatoria, si se tiene en cuenta que el nitrógeno se debe agregar anualmente en montes equilibrados. Por otra parte, las fuentes de calcio solubles por excelencia son el cloruro y el nitrato. El primero es tóxico y no es aconsejable como fertilizante aplicado por suelo, especialmente en aquellos de naturaleza salina, por lo tanto la elección del nitrato de calcio representa una buena alternativa.

## Pérdidas de nitrógeno

La lenta mineralización de la materia orgánica, libera nitratos que son rápidamente asimilables por las plantas o utilizados por los microorganismos del suelo. Por el contrario, una fertilización química aporta una gran cantidad de nutrientes disponibles, sujetos a pérdidas por diversos factores al no poder ser consumidos en pocas horas en

forma masiva por la vegetación y los microorganismos. En cualquier suelo, las principales pérdidas del fertilizante se reparten con distinta intensidad entre la lixiviación o lavado, volatilización y desnitrificación. De los tres, la lixiviación suele ser la más importante en la mayoría de las situaciones.

Siendo los nitratos la forma predominante de nitrógeno en el suelo y considerando la nula retención de estos en la matriz del suelo, es de esperar que todo exceso de agua arrastre consigo los nitratos que encuentre a su paso. En una fruticultura bajo riego, a través de un manejo racional del agua y de la fertilización es posible minimizar estas pérdidas, aunque sabemos que son inevitables.

En muchas regiones frutícolas donde existe el riesgo de heladas tardías, se utiliza el riego como método de defensa pasiva. Lamentablemente, la cantidad de agua que se aplica no sólo excede el requerimiento del frutal (que en ese momento es mínimo), sino que satura el suelo y lava nutrientes. Si la concentración de nitratos es alta las pérdidas pueden ser muy importantes.

Las posibilidades de encontrar una alta concentración de nitratos temprano en la primavera, puede ser producto de una fertilización nitrogenada en la prebrotación o a una acumulación progresiva de nitratos desde el otoño, acompañado con temperaturas altas al final del invierno.

Vallone et al. (1989) midieron en Mendoza, Argentina la lixiviación de N mineral ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ ) de 0 a 60 cm de profundidad en un suelo Torrifluvente típico y observaron que los valores iniciales de 47 a 108 mg N/kg de suelo descendían a valores entre 10 y 25 mg/kg por acción de los riegos primaverales. En un estudio similar, Aruani et al. (2007) monitorearon durante dos temporadas la variación estacional de nitratos en un suelo de textura franco, cultivado con manzanos y regado por manto, luego de la aplicación de nitrato de amonio a dosis de 100 y 200 kg/ha (50 % en floración y 50 % antes de la cosecha) con un tratamiento testigo sin fertilizar. Se determinaron los niveles de nitratos a tres profundidades del suelo hasta los 90 cm de profundidad. La lámina de agua empleada para el riego osciló entre 1712 y 2400 mm, con un aprovechamiento a campo del 30 %. La concentración de nitratos fue baja en los sectores donde no se fertilizó (testigo): alrededor de 22 mg/kg en superficie y reduciéndose a la mitad a la profundidad de 30-60 cm. En los sectores fertilizados, los nitratos se situaron en 175 y 300 mg/kg para cada dosis de nitrógeno. Estos valores se igualaron a los del testigo a los 30 días para la dosis menor y a los 60 días para la dosis mayor. Estos resultados permiten inferir el escaso tiempo residual de los nitratos debido a la acción de los riegos, principalmente los primaverales. Además demuestran con claridad la importancia de mejorar la gestión hídrica para eficientizar la fertilización nitrogenada.

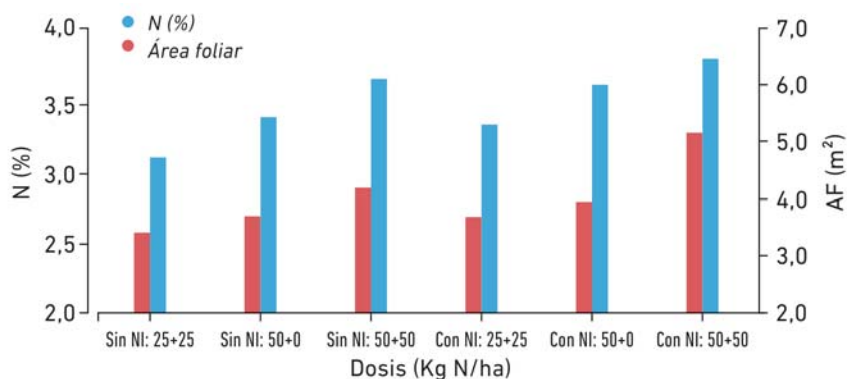
No sólo el riego por inundación es responsable de pérdidas importantes de nitrógeno. También el riego por aspersión durante varias noches de helada, provocan lavado de nitratos del perfil del suelo.

Una forma de minimizar pérdidas de nitrógeno por lixiviación es no fertilizar antes de la brotación, cuando la capacidad de absorción de nutrientes por los frutales es mínima y regar el cultivo cuando la humedad del suelo alcance un valor crítico (Neilsen & Neilsen, 2002). En la mayoría de las áreas bajo riego, el productor tiene por costumbre dar un riego ni bien disponga del agua y sin tener en cuenta el contenido hídrico del suelo en ese momento.

Otra alternativa para incrementar la eficiencia en la fertilización nitrogenada es la división de la dosis de nitrógeno en varias aplicaciones, lo cual minimiza las pérdidas por lavado. Cuanto más arenoso o poco profundo sea el suelo, mayor será la necesidad de subdividir la fertilización.

El uso de inhibidores de la nitrificación puede reducir las pérdidas de N por lavado de fertilizantes amoniacales, particularmente cuando existen riegos excesivos. Los fertilizantes de liberación controlada, en los que el gránulo está recubierto con polímeros, son otra alternativa para incrementar la eficiencia en la fertilización (Echeverría & Sainz Rozas, 2014).

En un estudio en duraznero, Villar *et al.* (2017) evaluaron durante tres años distintas estrategias de fertilización primaveral nitrogenada: dosis única (50) y dosis divididas (25+25, 50+50), expresadas en Kg N por hectárea. También se evaluó el efecto de la adición de un inhibidor de la nitrificación (NI: DMPP - 3,4 dimetilpirazol fosfato). Este compuesto retarda el pasaje de amonio a nitrato, aumentando la eficiencia de absorción del primero. La inclusión del inhibidor incrementó significativamente el nitrógeno en las hojas y el desarrollo de la canopia en todos los tratamientos realizados (Figura 11.1). El efecto del DMPP sobre la producción no fue tan evidente, pero los autores concluyeron que era posible reducir la dosis de nitrógeno habitual en la zona (100 Kg N/ha) a la mitad sin disminuir el rendimiento alcanzado.



**Figura 11.1.** Nitrógeno foliar (%) y área foliar (m<sup>2</sup>) en duraznero con distintas fertilizaciones primaverales de nitrógeno (kg/ha) y la adición de un inhibidor de la nitrificación (NI). Datos de Villar *et al.* (2017).

Otro causal de pérdidas de nitrógeno del fertilizante es la volatilización del nitrógeno como amoníaco en forma gaseosa (NH<sub>3</sub>). Todos los fertilizantes amoniacales, y en especial la urea, están sujetos a sufrir pérdidas considerables que pueden oscilar entre el 3 y el 50 % del nitrógeno aplicado dependiendo de factores como la temperatura, textura del suelo, pH y la cantidad de fertilizante aplicado (Stevenson, 1986).

En general, las pérdidas por volatilización son mínimas si el fertilizante es incorporado en el suelo ya sea por medio de una rastra o por acción del agua de riego. Por el contrario, si el fertilizante es dejado en superficie y el suelo es alcalino o calcáreo, la formación de amoníaco es intensa. Por ejemplo, el sulfato de amonio en presencia de calcáreo forma amoníaco según la siguiente reacción:



En el caso de la urea, el pH del suelo afecta marcadamente la magnitud de las pérdidas por volatilización, especialmente en el suelo desnudo. Con un pH de 7,5 se puede perder hasta un 50 % del nitrógeno aplicado después de 10 días. De la misma forma, la dosis de aplicación actúa en forma proporcional al igual que la temperatura que influye en el movimiento del amoníaco como gas hacia la atmósfera. A dosis elevadas de urea y a mayor temperatura, las pérdidas son elevadas.

En suelos arenosos, la baja capacidad de intercambio catiónico y la escasa retención hídrica, facilitan la acumulación de amoníaco en la solución del suelo y favorece su escape hacia el aire. La clave para manejar correctamente la urea en suelos arenosos, radica en aplicar dosis bajas de fertilizante a efecto de mantener una concentración mínima de amoníaco en la solución del suelo; de esta manera, las posibilidades de escape de gas hacia la atmósfera disminuyen. Haciendo un paralelismo con la lixiviación de nitratos, de igual manera se requiere dosis bajas de fertilizante amoniacal (o urea) para minimizar pérdidas. Sin lugar a dudas la fertirrigación permite incorporar dosis mínimas de nitrógeno en forma permanente, en pro de un mayor aprovechamiento o eficiencia.

La *desnitrificación*, es la tercera posible vía de pérdida de nitrógeno y se da en condiciones muy particulares. Químicamente, la desnitrificación es la pérdida de nitrógeno también en forma gaseosa, pero no en la forma de amoníaco sino de nitrógeno elemental (N<sub>2</sub>) u óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). El proceso es llevado a cabo por microorganismos del suelo que para poder descomponer la materia orgánica en condiciones anaeróbicas emplean el oxígeno del nitrato como aceptor final de electrones.

Muchos científicos piensan que la elevada composición de nitrógeno de la atmósfera, tiene su origen en la desnitrificación llevada a cabo por más de 200 millones de años. Los requerimientos específicos para que se produzca desnitrificación en los suelos, son la presencia de bacterias capaces de llevar adelante dicho proceso, materia orgánica (o compuestos reducidos de carbono) como sustancia dadora de electrones, condiciones anaerobias debido a anegamiento y obviamente presencia de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> o NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. A su vez, la ocurrencia de temperaturas de suelo elevadas (25-35 °C), acentúan este proceso (Echeverría & Sainz Rozas, 2014). En condiciones de campo, pueden existir micrositios que reúnan las condiciones expuestas y conduzcan a pérdidas de nitrógeno. Sin embargo, es de esperar que con un manejo correcto del riego y del suelo no se creen sitios anaeróbicos producto de un exceso hídrico o de una falta de oxígeno por intenso consumo microbiano.

Barakat *et al.* (2016) realizaron una exhaustiva revisión acerca de cómo los distintos sistemas de riego (inundación, micro aspersión y goteo) influyen los flujos de N del suelo y, por ende, sus pérdidas. También analizaron otros factores inherentes del suelo

como la textura, el pH, la relación C/N y la temperatura. Si bien el sistema de riego por goteo se destaca en reducir las pérdidas de nitrógeno, existen otros factores de similar relevancia como ajustar las dosis y momentos de fertilización.

### Fertilizantes fosfatados

Las fuentes de fósforo que son empleadas en fruticultura, varían de acuerdo al tipo de suelos de que se trate. En general se prefieren formulaciones solubles del tipo de los superfosfatos, aunque en suelos ácidos es posible incorporar roca fosfatada finamente dividida.

Antes de detallar los tipos de fertilizantes que contienen fósforo, es necesario aclarar algunos conceptos de terminología, que en el caso del fósforo confunden bastante. La tradición ha hecho que el contenido de fósforo se exprese en términos equivalentes de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) y no en su contenido real de fósforo. Tal es la confusión que muchas personas creen que el fósforo se absorbe como pentóxido de fósforo. Para convertir  $P_2O_5$  en P es necesario dividir por 2,29. En el Cuadro 11.2, se mencionan los distintos fertilizantes fosfatados, sus características más sobresalientes y se incluye sus concentraciones de fósforo tanto como pentóxido y del elemento.

**Cuadro 11.2.** Características de los fertilizantes fosfatados.

Fertilizante	Fórmula	$P_2O_5$ (%)	P (%)	Sol. agua (%)	Otros nutrientes
Ácido fosfórico	$H_3PO_4$	55	24	100	-
Superfosfato	$Ca(H_2PO_4)_2 + CaSO_4$	18-22	8-9	90	S (8-9%) Ca
Superfosfato triple	$Ca(H_2PO_4)_2$	46	20	98	Ca
Fosfato monoamónico	$(NH_4)H_2PO_4$	48-55	27	100	N (11%)
Fosfato diamónico	$(NH_4)_2HPO_4$	46-48	20	100	N (18%)
Fosfato monopotásico	$KH_2PO_4$	52	22	100	K (29%)
Roca fosfórica	$Ca_{10}(PO_4,CO_3)_6(F,Cl,OH)_2$	25-35	11-15	-	Ca (36%)

Los diversos materiales se clasifican de acuerdo a su solubilidad en fosfato soluble en agua y fosfato soluble en ácido cítrico. La suma de ambos expresa la disponibilidad total del fósforo en el fertilizante. En fruticultura, interesan fuentes de fósforo que sean disponibles inmediatamente para la planta. Un fertilizante fosfatado puede tener un 10 % de P, pero se debe tener en cuenta que lo que interesa no es el fósforo total sino el disponible, y dentro de éste el soluble en agua.

Como indica la Tabla, los fertilizantes más empleados son muy solubles en agua y en contacto con el suelo húmedo se disuelven fácilmente. En la elección de los fertilizantes fosfatados para frutales que se cultivan en suelos con pH neutro o alcalino y con contenido medio o alto de calcáreo, se deben elegir fuentes solubles en agua. Por el

contrario, en suelos de reacción ácida, el fertilizante que contenga fosfatos insolubles en agua se puede disolver con el tiempo y tornarse disponible.

Los fertilizantes fosfatados que son solubles, aportan la forma de fósforo que las plantas más prefieren, es decir el anión fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). El ácido fosfórico es empleado en fertirrigación como fuente de fósforo y además para regular el pH de la solución. También es empleado como fuente de fósforo en pulverizaciones foliares.

### Reacciones en el suelo

**Ácido fosfórico:** es el fertilizante con mayor concentración de fósforo (24 % P), completamente soluble en agua. Este fertilizante es ampliamente utilizado en fertirriego, en el cual su carácter ácido evita el taponamiento de goteros y líneas de riego.

**Superfosfatos de calcio:** tanto el superfosfato común como el superfosfato triple, una vez en el suelo se hidratan muy fácilmente dando lugar a la siguiente reacción:



La solución resultante es extremadamente ácida, llegando a un pH de 1,8 en el interior del gránulo del fertilizante que difunde hacia el exterior y disuelve compuestos de hierro, aluminio y manganeso que terminan precipitados en la forma de fosfatos. En el caso de suelos calcáreos se forma fosfato dicálcico ( $\text{CaHPO}_4$ ) en la superficie de las partículas de carbonato de calcio. A medida que pasa el tiempo el fósforo pasa a formas cada vez menos disponibles por lo que su residualidad es limitada.

**Fosfatos de amonio:** los gránulos del fertilizante se hidratan de la misma forma que en el superfosfato, con la diferencia que el pH es de 4 en el caso de fosfato monoamónico y de 9 en el fosfato diamónico. En este último, el pH desciende cuando el amonio pasa a nitrito y la reacción final en el suelo es ácida.

**Urea fosfato:** Fertilizante formado por la mezcla de urea y ácido fosfórico u otros fosfatados. Esta combinación disminuye las pérdidas por volatilización del amoníaco de la urea. Es altamente soluble por lo que resulta adecuada para el fertirriego.

### Movilidad del fósforo y forma de aplicación del fertilizante

Las reacciones que se originan luego de la incorporación del fertilizante que finalizan con precipitación de diversos compuestos, justifican que el fósforo sea calificado como elemento inmóvil. La escasa movilidad en algunos suelos como los arenosos, o la prácticamente nula movilidad en suelos más pesados y calcáreos, obliga a ser extremadamente cauto en la forma de aplicación.



El objetivo a cumplir es lograr colocar el fertilizante lo más cerca posible de las raíces. En suelos arenosos, se puede aplicar el fertilizante al voleo y luego incorporado con una rastra, mientras que en dónde exista una gran fijación (suelos más pesados o suelos originados de cenizas volcánicas) será necesario recurrir a una aplicación concentrada en forma de bandas, con el fin de crear una zona buffer entre el fertilizante y la matriz del suelo, para que las raíces tengan la oportunidad de absorber formas disponibles de fósforo. A veces las dosis de fósforo deben ser muy altas para satisfacer el poder de fijación de los suelos, como es el caso concreto de los suelos Parkdale en Hood River, Oregon caracterizados por ser de material amorfo con fijaciones de fósforo de más de 1 tonelada por hectárea. En este tipo de suelos la aplicación de P debe ser sumamente localizada.

Aplicaciones sucesivas son más efectivas que una aplicación masiva, con el fin de aumentar las reservas en el suelo. Como se vio, el alto poder de reacción del fósforo en el suelo limita mucho el poder residual del fertilizante.

### Fertilizantes potásicos

Los fertilizantes potásicos más usados en el país en orden de importancia son el cloruro, sulfato y nitrato de potasio (Cuadro 11.3). La fuente de potasio por excelencia es el cloruro, aunque su empleo está condicionado a la salinidad de los suelos. A los fines prácticos y en suelos no salinos, la cantidad de ion cloruro que se encuentra en una dosis de fertilizante de 300 ó 400 Kg por hectárea no perjudica el crecimiento de las plantas, por lo que su empleo como fuente de potasio se justifica plenamente. El cloruro es muy móvil en el suelo y siempre que se riegue considerando una dosis de lavado no existe el más mínimo riesgo de toxicidad. Por el contrario, su uso está restringido en suelos mal drenados y con capa freática elevada.

La ventaja del cloruro de potasio es poseer una concentración elevada de potasio con respecto al sulfato y al nitrato. La forma sulfato aporta además azufre, por lo tanto es recomendable el empleo de esta fuente potásica en suelos donde el azufre es limitante. Como el azufre se encuentra totalmente oxidado no acidifica el suelo, es decir no tiene valor de enmienda, sino sólo nutricional.

El nitrato de potasio, aporta nitrógeno en un estado rápidamente asimilable. Se caracteriza además por su alta solubilidad (316 g/l a 20 C) similar a la del cloruro de potasio (346 g/l). Si se quiere fertilizar únicamente con potasio, este fertilizante es más caro por unidad de potasio, En fertirrigación es un componente casi obligado en la mayoría de las fórmulas nutricionales.

**Cuadro 11.3.** Características de los fertilizantes potásicos.

Fertilizante	Fórmula	K	K20 (%)	SoL. agua (g/l)	Otros nutrientes
Cloruro de potasio	KCl	50	60-62	346	-
Sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	42	50	110	S (18%)
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	36	44	316	N (13%)
Sulfato de potasio y magnesio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + MgSO <sub>4</sub>	18	22	110	Mg (11%), S (22%)

## Fertilizantes que aportan calcio, magnesio y azufre

En montes frutales de regiones semiáridas y áridas, no es de esperar deficiencias generalizadas de estos nutrientes. Los dos primeros son principales constituyentes del complejo de intercambio, pero en situaciones especiales deben aportarse externamente. El caso más común lo representa el calcio, que casi nunca es deficiente en las hojas pero sí lo es en los frutos, principalmente de manzano. Detalles de la nutrición cálcica se tratan en el Capítulo 14.

En cambio en suelos con pH ácido, el suministro de calcio y magnesio como enmienda y aporte químico es significativo. Tanto el aporte de calcio como de magnesio vía fertilizante conviene hacerlo en aplicaciones foliares debido a que el suelo reacciona muy rápidamente con estos cationes y los incorpora fundamentalmente al complejo de intercambio. Esto para nada significa que el calcio no pueda ser incorporado y aprovechado eficientemente en la zona de raíces. Simplemente se prefiere una aplicación foliar por razones de practicidad. Tanto por vía suelo o foliar las sales de calcio en forma de cloruro y nitrato son eficientes.

En el caso del magnesio, donde el suministro a las hojas debe ser constante, las aplicaciones por suelo a dosis económicamente aceptables no son eficientes, mientras que la alternativa foliar es la más indicada. En un ensayo llevado a cabo en manzanos cv. Fuji, las aplicaciones localizadas por suelo como sulfato de magnesio a razón de 400 kg/ha no lograron mejorar la concentración de magnesio en las hojas en el año de aplicación, mientras que tres pulverizaciones foliares de la misma sal al 1 %, logró incrementarla en un 55 % (Sánchez, inédito).

Las deficiencias de magnesio se asocian a condiciones de estrés en la planta y a la competencia con otros cationes, tal el caso del calcio y el potasio. La susceptibilidad varietal es muy importante. Por ejemplo en manzanos, las variedades 'Fuji', 'Gala' y 'Golden Delicious' son susceptibles mientras que 'Granny Smith' y 'Red Delicious' no lo son. El pera la variedad 'Beurré Bosc' manifiesta síntomas de deficiencia antes que 'Williams' o 'Beurré D'Anjou'.

El magnesio se puede aplicar en la forma de sulfato (o sal Epsom) que contiene un 11 % de magnesio, o de nitrato, que contiene según la formulación entre un 8 a 9,5 %. Para aplicación foliar, existe el nitrato de magnesio líquido exento de cloro y sodio. Los quelatos tienen menos del 5 % de magnesio por lo que se requieren varias aplicaciones.

En cuanto al azufre, se puede decir que es un elemento que va creciendo en importancia a medida que pasa el tiempo, debido a que su paulatino consumo a lo largo de la vida del monte frutal y en sucesivas plantaciones, agota lentamente las reservas naturales de los suelos. Sumado a este hecho, se debe mencionar también su escaso aporte a través de fertilizaciones acompañando a otros nutrientes.

El azufre se absorbe en la raíz como ion sulfato. Cuando se utilizan aguas de riego ricas en sulfatos, la reposición en los suelos está garantizada, al igual que en los suelos donde se aplica regularmente yeso como enmienda cálcica.

El Cuadro 11.4, muestra las fuentes de azufre más comunes en los suelos. De todos ellos, sin duda el sulfato de amonio es el más importante, especialmente si se considera que en condiciones normales el nitrógeno es un elemento obligado a incorporar en montes frutales equilibrados. El sulfato de potasio incorpora también azufre pero en la

mayoría de los suelos el agregado de potasio no se realiza en forma anual, a excepción de suelos arenosos con bajos niveles de potasio intercambiable que soportan frutales con alto rinde.

**Cuadro 11.4.** Características de las principales fuentes de azufre.

Fuente de Azufre	Fórmula química	% Azufre
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	24
Superfosfato simple	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4$	12
Sulfato de potasio	$\text{K}_2\text{SO}_4$	18
Sulfato de potasio y magnesio	$\text{K}_2\text{SO}_4 - \text{MgSO}_4$	18
Sulfato de calcio	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	19

## MEZCLAS FÍSICAS

Las mezclas físicas, son más baratas que las mezclas químicas de igual grado. En nuestro país son muy comunes las formulaciones a base de urea, superfosfato y cloruro de potasio como se puede observar en el Cuadro 11.5. A veces se agregan algunos microelementos aunque la respuesta de los frutales al agregado de elementos menores vía suelo es muy baja.

Si bien tanto las mezclas físicas como químicas son útiles en casos de montes envejecidos con escaso desarrollo tanto de follaje como de su sistema radical, se debe precisar bien el momento de aplicación. Comúnmente estos fertilizantes se incorporan al suelo antes de floración cuando la actividad de las raíces es baja o nula. Bajo esas condiciones el nitrógeno del fertilizante es susceptible a ser lavado mediante lluvias o riego (preferentemente en el caso del riego como herramienta de control pasivo de hecadas). En consecuencia, la formulación pierde el elemento más importante de activación del metabolismo de la planta, siendo necesario su agregado adicional.

**Cuadro 11.5.** Kilogramos requeridos para la formulación de una tonelada de algunas mezclas a base de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$  con fertilizantes simples.

	15-15-15	19-19-19	5-30-15
Urea	202	233	-
Fosfato diamónico	330	382	300
Superfosfato triple	-	-	350
Cloruro de potasio	250	293	250
Inerte	218	92	100
Total	1000	1000	1000

## BIBLIOGRAFÍA

- ARJANI, M.C.; E.E. SÁNCHEZ; P. REEB y E. AUN. 2007. Variación de la concentración de nitratos en un suelo franco limoso del Alto Valle de Río Negro. *FCA UNCuyo*, Tomo XXXIX N° 2, 25-33.
- BARAKAT, M.; CHEVIRON, B. & ANGULO-JARAMILLO, R. 2016. Influence of the irrigation technique and strategies on the nitrogen cycle and budget: A review. *Agricultural Water Management*, 178, 225-238.
- ECHVERRÍA, H.E. & SAINZ ROZAS, H. 2014. Nitrógeno. *En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina, 189-228.
- MELGAR, R.M.; E. CAMOZZI y M.M. FIGUEROA. 1999. Fertilizantes y enmiendas. Guía Fertilizantes y enmiendas y productos nutricionales. INTA- Fertilizar, 260 pag.
- NEILSEN, D. & NEILSEN, G.H. 2002. Efficient use of nitrogen and water in high-density apple orchards. *HortTechnology*, 12(1): 19-25.
- STEVENSON, F.J. 1986. *Cycles of soil*. John Wiley Sons, New York, 380 pag.
- TISDALE, S.L. y W.L. NELSON. 1975. *Soil fertility and fertilizers*. Macmillian Publishing Co. Inc., New York, 694 pag.
- VALLONE, R.; B.R. VALENZUELA y J.A. MAFFEI. 1993. Variación temporal del N mineral en suelo Torrifluente típico. Resúmenes del XIV Congreso AACs.
- VILLAR, J.M.; PASCUAL, M.; ARBONÉS, A.; VILARRASA, M. & RUFAT, J. 2017. Using the nitrification inhibitor DMPP to enhance uptake efficiency in a fertigated peach orchard plantation. *Acta horticulturae* 1217: 201-206.

*capítulo*

# 12

## FERTILIZACIÓN FOLIAR

En la naturaleza, las plantas tienen pocas posibilidades de obtener nutrientes por vía foliar, excepto aquellos que son gases como el  $\text{CO}_2$  o el  $\text{SO}_2$  que son tomados de la atmósfera. En cambio aquellos nutrientes que son solubles en agua no son muy eficientemente absorbidos.

En los frutales, caracterizados por tener un alto rendimiento y demanda nutricional, las aplicaciones foliares tienen un espacio de acción importante. Esta práctica de manejo utilizada en su justa medida, aporta soluciones concretas en casos específicos. Entre los frutales de hoja caduca, el manzano es el que mejor responde a la fertilización foliar, pero incluso en esta especie su alcance es limitado.

El primer factor a considerar en la fertilización foliar, es la eficiencia que tiene esta práctica en satisfacer la demanda al cultivo en tal o cual nutriente. Si bien todos ellos pueden ser incorporados a través de las hojas, la cantidad que puede efectivamente ser absorbida es variable en función de la demanda total del cultivo para ese nutriente. Es muy distinto incorporar 100 gramos de cinc al cultivo que 5 kilos de potasio. Mientras que en el primer caso se abastece con el 50 % de la demanda total del cultivo, en el segundo sólo se logra aportar el 5 % del requerimiento total. Frente a una deficiencia de cinc, la fertilización foliar responde muy bien y el cultivo sufre una notable mejoría en un período muy corto de tiempo. En cambio, frente a una deficiencia de potasio, la mejora será muy parcial y durante un período muy breve de tiempo. El caso de nitrógeno es algo particular porque, como se discutirá más adelante, aplicaciones constantes pueden nutrir a la parte aérea de la planta pero no a las raíces.

## ALCANCES DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR

Las aplicaciones foliares son útiles para:

- Nutrir a la planta con microelementos.
- Activar el metabolismo vegetal.
- Corregir rápidamente desbalances nutricionales.
- Complementar el trabajo de la raíz en situaciones de estrés o condiciones desfavorables como baja temperatura de suelo.
- Incrementar reservas nitrogenadas en la poscosecha.

La fertilización foliar aplicada en su justa medida aporta soluciones concretas en casos específicos. Esta práctica no es la solución total y definitiva del manejo nutricional de un monte y de ninguna manera reemplaza a la aplicación de macroelementos por el suelo.

## ABSORCIÓN POR LA HOJA

La eficiencia con la cual los nutrientes son utilizados, depende -en primer lugar- de su absorción y posteriormente de su movilidad específica en la planta ya sea el transporte de larga distancia, especialmente por el floema o por el simplasto.

En los últimos años, se han investigado los mecanismos de absorción de moléculas orgánicas e inorgánicas en la hoja, los cuales permiten entender con mayor claridad el primer y crítico paso que debe cumplirse, que es la penetración en la cutícula. Los nutrientes penetran en la hoja siguiendo un gradiente de difusión. La vía principal de penetración es a través de la superficie de la hoja atravesando la cutícula, aunque investigaciones recientes dan cuenta de la importancia de los estomas en permitir el paso de nutrientes (Burkhardt & Eichert, 2001, Fernández *et al.*, 2013).

En la figura 12.1 se puede observar la sección cortical de una hoja, con varios tejidos incluyendo las estomas y la cavidad estomática. El aire entra fácilmente por los estomas, pasa al mesófilo esponjoso y de allí el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{O}_2$  penetran a través de la membrana plasmática hacia el citosol. En cambio, los nutrientes minerales cuando son depositados en la superficie de la hoja deben atravesar varias barreras hasta llegar al citosol.

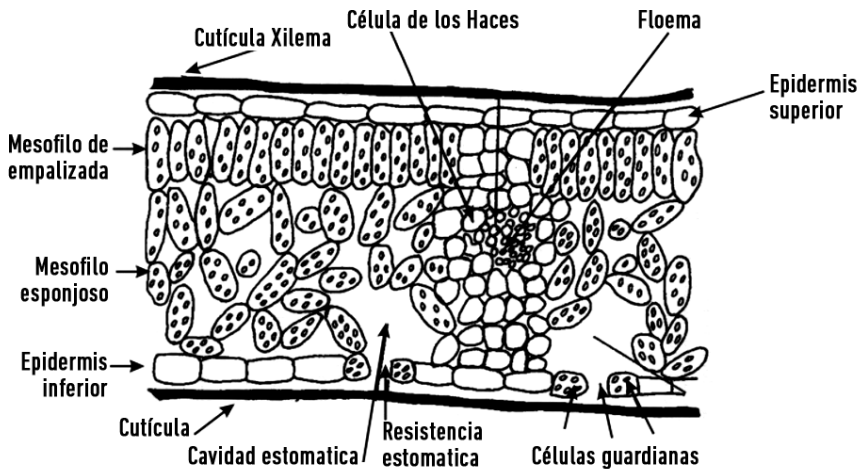


Figura 12.1. Corte transversal de una hoja.

Para ser absorbido, todo elemento o compuesto debe atravesar la cutícula, que es la principal barrera para la absorción foliar (Fernández *et al.*, 2013). Estructuralmente, la cutícula está compuesta por tres capas. La primera y más superficial es la cera epicuticular. Las ceras que forman esta capa son a menudo cristalinas y dan lugar a imperfecciones o irregularidades en la superficie de la hoja. Están compuestas de una combinación de ácidos orgánicos, ésteres y alcoholes.

Por debajo se encuentra la cutina, entremezclada con las ceras mencionadas anteriormente. La cutina está constituida por una mezcla de ácidos grasos de 16 a 18 carbonos que se encuentran unidos por ésteres, dando una constitución tridimensional. La última capa está formada por una combinación de ceras, cutina, proteínas y polisacáridos (Figura 12.2).

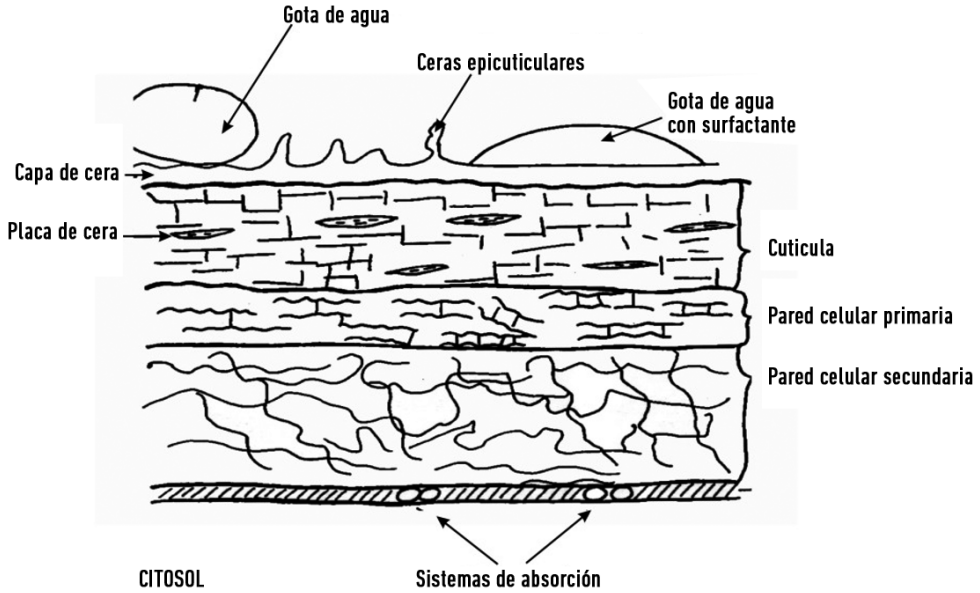


Figura 12.2. Corte transversal de la cutícula.

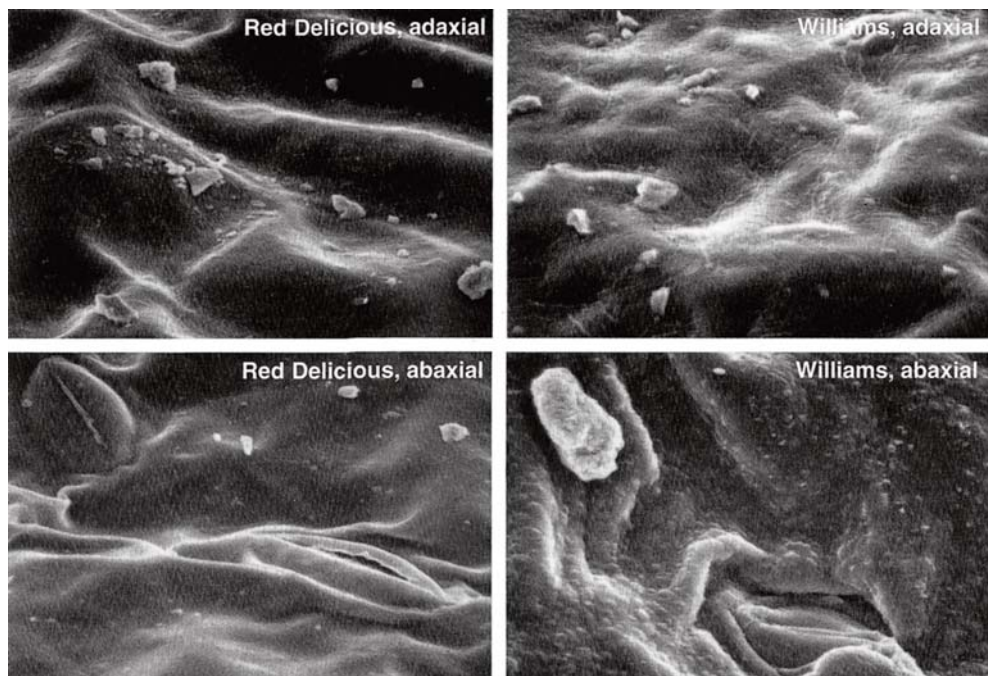
La cutícula de las distintas especies varía en su composición. Por ejemplo, la cutícula de una hoja de durazno presenta mayor contenido de ceras, principalmente en la cara inferior o abaxial, comparado con la cutícula de manzano o de naranjo (Cuadro 12.1). La cantidad de ceras que poseen las hojas de una determinada especie, se correlaciona con la capacidad de absorber nutrientes. De hecho, se sabe que la absorción foliar por hojas de duraznero es más dificultosa que en las otras dos especies.

Cuadro 12.1. Contenido de cera ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) en la cutícula de hojas de duraznero, manzano y naranjo (Leece, 1976).

	Duraznero	Manzano	Naranjo
Cutícula adaxial o superior	35	31	18
Cutícula abaxial o inferior	71	47	47

De la misma forma, las hojas de peral presentan mayor contenido de ceras que las hojas de manzano. En la figura 12.3, se muestran fotografías tomadas con microscopio electrónico de la cutícula adaxial y abaxial de hojas de manzano 'Red Delicious' y de peral 'Williams' (Sánchez, inédito). En la misma se aprecia que la gran diferencia en el contenido de ceras se da en la hoja de peral. Por lo tanto, las aplicaciones foliares de nutrientes en peral serán más dificultosas que en manzano.





**Figura 12.3.** Fotografías tomadas con microscopio electrónico (x2000) de la cara adaxial (superior) y abaxial (inferior) de hojas de manzano 'Red Delicious' y peral 'Williams' (Sánchez, inédito).

## ABSORCIÓN DE CATIONES Y ANIONES

Los cationes y aniones, deben penetrar la cutícula en cantidades equivalentes para mantener una neutralidad eléctrica. Este requisito no es menor y tiene implicancias técnicas importantes, ya que hay cationes que son retenidos con mayor fuerza que otros.

Las tasas de penetración son afectadas, entre otros factores, por la humedad sobre la cutícula y por la higroscopicidad de la sal. La penetración de sales inorgánicas, requiere como primer paso la disolución de la sal que está determinada por el punto de delicuescencia (PDD). Cuando la humedad se encuentra por encima del PDD, la sal depositada sobre la cutícula se disuelve, pero si se encuentra por debajo de ese valor, la sal permanece en estado sólido y no puede penetrar. De esta manera, las sales con bajo PDD son las más favorecidas para penetrar en la cutícula. En el Cuadro 12.2 se mencionan algunas sales y su correspondiente PDD. De esta manera, por ejemplo, el  $\text{CaCl}_2$  (33 %),  $\text{MgCl}_2$  (33 %),  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (44 %),  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (56 %) y  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  (56 %) son sales factibles de penetrar la cutícula. En cambio el  $\text{KNO}_3$  y las sales con fósforo son mucho menos favorecidas por tener un PDD alto (Schönherr, 2002).

**Cuadro 12.2.** Propiedades físicas de algunas sales inorgánicas.

Sal	PDD	Solubilidad (g/L H <sub>2</sub> O)	Contenido de Nutriente (%)	Peso molecular (g/mol)
CaCl <sub>2</sub> x 6 H <sub>2</sub> O	33	2790	18,3	219
MgCl <sub>2</sub> x 6 H <sub>2</sub> O	33	1670	12,0	203
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> x 2 H <sub>2</sub> O	44	1469	44,9	174
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> x 4 H <sub>2</sub> O	56	6600	10,3	236
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> x 6 H <sub>2</sub> O	56	1250	9,5	256
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	63	1183	35	80
KCl	86	344	52,1	75
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	92	167	44,9	174
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	95	226	28,8	136
KNO <sub>3</sub>	95	316	38,7	101

Después que atraviesan la cutícula, los solutos entran en el espacio libre de la pared celular o apoplasto. En las hojas, contrariamente a lo que ocurre en la raíz, estos espacios están ocupados mayormente por aire, lo que dificulta la difusión mineral.

El simplasto, es la mejor vía de movilidad de estos nutrientes. La tasa de difusión entre la superficie de la hoja y el espacio libre de la pared celular depende de la concentración del nutriente en ambos lugares. Cuando el nutriente en cuestión es activamente absorbido a través de la membrana plasmática, la tasa de difusión de la superficie de la hoja al apoplasto es facilitada por un gradiente de concentración continuo.

Una vez que los nutrientes penetran el citosol, pueden ser transportados de célula en célula vía los plasmodesmos, y distribuirse en todo el tejido. También pueden alcanzar las células "acompañantes" del floema y distribuirse a zonas más distantes, como ocurre con el nitrógeno y potasio que son muy móviles en la planta.

La concentración de calcio en el citosol es muy baja, por esta razón el simplasto no es la mejor vía de transporte. El apoplasto, tampoco es una vía de transporte importante porque el calcio se une a grupos carboxílicos y pécticos. De esta manera, una vez que atraviesa la cutícula y penetra en el apoplasto tiene pocas posibilidades de alcanzar el tejido vascular.

Por esta razón el xilema es la principal vía de distribución de calcio en las plantas. Los frutos, se enriquecen de calcio cuando son jóvenes y transpiran. Luego, los frutos se alimentan preponderantemente a través del floema por lo que ven restringido su enriquecimiento con este nutriente.

A pesar de que la difusión es el mecanismo preponderante en la absorción de nutrientes por las hojas, la penetración de urea es mucho más rápida que la cinética de absorción por el simple proceso de difusión. Se cree que la urea incrementa la permeabilidad de la cutícula y que funciona de promotora de absorción de iones acompañantes al inducir cambios en la conformación de la misma.

## Consecuencias en la interpretación del análisis foliar

La cutícula, al poseer cargas negativas, retiene a los cationes; los cuales resisten el lavado superficial de las hojas aún con detergentes. Esta propiedad se conoce como “retención” cuticular y tiene el enorme significado práctico de sobreestimar la concentración real de algunos nutrientes en las hojas, en especial los microelementos, cuando se han realizado fertilizaciones foliares.

Cuando las hojas han recibido una fertilización foliar con hierro, cinc o manganeso -por ejemplo-, gran parte del fertilizante permanece retenido en la cutícula sin pasar al espacio interior de la hoja, donde realmente ejerce su funcionalidad. En otras palabras, no se encuentran “absorbidos”. A pesar de lavar el material foliar con agua y detergente, se consigue remover únicamente la porción libre, pero no la que se encuentra en la cutícula. Otra fracción queda efectivamente en el interior de la hoja y no se transporta a otras partes porque tanto el cinc como el hierro se comportan como prácticamente inmóviles. Como consecuencia de estos dos procesos, es común observar análisis foliares con 100 o 150 ppm de cinc o de 50 ppm de cobre que erróneamente reflejan el nivel nutricional del tejido y de la planta en su conjunto.

En el Cuadro 12.3., se simula el resultado de un análisis foliar donde la extracción de la muestra se ha realizado tomando cantidades variables de hojas que han sido previamente fertilizadas por vía foliar. En otras palabras, se pretende representar una situación real como es la de fertilizar con cinc en la primavera y muestrear las hojas en el verano. Se asume que las hojas tratadas con un fertilizante foliar de cinc tienen una concentración de 200 ppm, mientras que las hojas no tratadas (aquellas que emergieron con posterioridad a la aplicación foliar) tienen solamente 15 ppm. Si la muestra en cuestión no incluye ninguna hoja tratada la concentración de ésta sería de 15 ppm. Pero si por alguna razón, en la muestra aparece una hoja contaminada (es decir que se tomó una hoja tratada) la concentración teórica de esa muestra sería de 18,7 ppm. Y si de las 50 hojas de la muestra se tomaron 10 hojas tratadas, la concentración final de la muestra arrojaría un valor de 52 ppm.

**Cuadro 12.3.** Simulación de la concentración de cinc (ppm) en una muestra de 50 hojas provenientes de un monte fertilizado, cuando en la misma se consideran hojas que han sido o no tratadas con el fertilizante foliar.

Hojas sin tratar	Hojas tratadas	Zn (ppm)
50	0	15,0
49	1	18,7
48	2	22,4
45	5	33,5
40	10	52,0

El ejemplo, pretende graficar la importancia que tiene la toma de muestras. Para el caso de cinc donde se considera un nivel de suficiencia de 18-20 ppm, tan sólo dos hojas tratadas pueden alterar la interpretación de un análisis foliar. Podemos tener 52 ppm, cuando en realidad todo el nuevo crecimiento tiene solamente 15 ppm.

Los datos de la Tabla 12.3, no son una exageración, y representan situaciones reales. Cuando se aplica cinc a caída de pétalos y se toma una muestra foliar en el mes de febrero, es posible que la totalidad de la muestra esté exenta de la influencia del fertilizante, pero si la aplicación foliar se realizó en noviembre, el análisis foliar no reflejará la realidad porque indefectiblemente el tercio medio del brote del año estará “contaminado” en mayor o menor grado dependiendo del crecimiento vegetativo posterior a la fertilización.

## QUELATOS

Los quelatos conforman lo que se denomina “compuestos de coordinación o complejos”, en donde un átomo central, usualmente un metal de transición está rodeado por un grupo de átomos o moléculas llamadas “ligando”. Los quelatos más usados en la nutrición mineral se conforman con un metal pesado que tiene carga positiva, el que se une con enlaces covalentes a un ligando que puede ser del tipo del EDTA o un aminoácido como ser la glicina.

En el caso de la glicina, existen pares de electrones libres o vacantes en el nitrógeno del grupo amino y en el oxígeno del ácido. Estos pares de electrones pueden entrar en el orbital vacante de un metal y conformar una estructura de anillo. Si el metal tiene dos cargas positivas, como por ejemplo el cobre, hierro o el cinc, se necesitarán dos moléculas de glicina para formar el quelato.

La estabilidad de los quelatos es muy importante, porque determina la calidad del complejo en cuanto a su capacidad para mantener el quelato como identidad química o -por el contrario- separado en sus componentes (metal y ligando).

Si el quelato se aplica al suelo, conviene que no libere fácilmente al metal porque éste puede reaccionar muy rápido con la matriz del suelo e inmovilizarse. Por el contrario, si el quelato se aplica por vía foliar conviene que no sea muy estable porque no se disociaría dentro de la planta. La glicina tiene constantes de estabilidad algo menor al EDTA, pero ambos son muy buenos agentes quelantes. Por el contrario, los ácidos cítrico o tartárico tienen constantes de estabilidad muy bajas y son pobres agentes quelantes.

Una discusión permanente, es la de las posibles ventajas de los quelatos con respecto a otros compuestos. En términos de eficiencia de aplicación, hay conciencia general de que el quelato ofrece algunas ventajas, pero la discusión debe ser un poco más amplia y considerar aspectos tales como costos y practicidad. Si -por ejemplo- se compara la efectividad de un quelato de cinc versus el sulfato de cinc, los resultados pueden variar según la dosis de aplicación. A igual cantidad de cinc aplicado el quelato es mejor, pero si se aplica cinco o seis veces la cantidad de cinc en forma de sulfato, el resultado con la sal puede ser similar o mejor. Cuando se aplica un quelato, a la dosis recomendada, es muy raro que provoque síntomas de toxicidad en los frutos. Este factor es clave en variedades sensibles como la manzana 'Golden Delicious' y la pera 'Beurré D'Anjou', por citar un par de ejemplos.

En la elección del fertilizante foliar se deberá evaluar factores como conveniencia, compatibilidad (en caso que se aplique en conjunto con pesticidas u otros fertilizantes), seguridad y costos. Todo producto foliar debe ser probado en la región donde se lo utilice, antes de aplicarlo en forma masiva. Por suerte, existen muchas alternativas para poder establecer comparaciones de efectividad y conveniencia.

Se enfatiza mucho en los estudios regionales, porque la experiencia de un país no puede trasladarse a otro en un ciento por ciento, aunque los principios generales sean los mismos. El ejemplo típico es la época de aplicación y que no necesariamente es coincidente cuando se comparan diversas áreas. No se hace referencia a la movilidad o no de los nutrientes, porque ese factor es invariable así se consideren partes distantes del globo y condiciones climáticas muy distintas, pero en regiones donde la fruta es propensa al *russetting* por las condiciones climáticas, se debe evitar a toda costa agravar el problema.

Al respecto, se sabe que los primeros 45 días después de plena floración son críticos en el *russetting* de la fruta. Cuando este problema esté latente, se deberá aplicar el fertilizante antes y después de ese momento, para evitar todo riesgo potencial. En la mayoría de las situaciones que se presentan, es posible adecuar el momento de aplicación.

## BIOESTIMULANTES

Bajo esta denominación, se conocen compuestos que sin ser fertilizantes, insecticidas, fungicidas u hormonas actúan mejorando la salud y el metabolismo de la planta. Estos productos contienen hormonas naturales de las plantas, proteínas, aminoácidos, ácidos húmicos y fúlvicos, vitaminas, oligosacáridos, ácidos nucleicos, enzimas y minerales entre los más importantes.

### Rol de las citoquininas

Las citoquininas, además de estar implicadas en los procesos de control de crecimiento de hojas y brotes a través de mecanismos de división celular, tienen influencia en el control de la senescencia de las hojas al retrasar la degradación de las proteínas y la clorofila. También actúan favoreciendo el transporte de nutrientes, al facilitar el paso de iones a través de las membranas celulares. Otra función que asocia a este grupo de activadores es su efecto anti-estrés.

Las hojas jóvenes y los meristemos apicales son lugares de síntesis de citoquininas. Dentro del grupo de las citoquininas, la más común es la zeatina. Esta hormona es extraída de las algas y representa comercialmente una de las fuentes más importantes de citoquininas. La glicina-betaína es una conocida molécula vegetal natural que tiene efecto citocinínico y antiestrés. Esta última función se asocia al cambio de composición proteica en plantas afectadas.

El extracto de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*), es uno de los ejemplos más comunes de bioestimulantes. Este efecto bioestimulador está asociado a las citoquininas, sin embargo en estos extractos, se han identificado auxinas, betainas, oligosacáridos y elementos minerales. La respuesta a este producto se da en incrementos en tamaño de fruto y también firmeza de los mismos (Norrie *et al.*, 2002).

## Aminoácidos

Productos a base de amino ácidos están siendo muy populares en la actualidad. En un ensayo en durazneros de dos años, se comparó la eficiencia de absorción de varios compuestos nitrogenados marcados con el isótopo estable  $^{15}\text{N}$ , incluyendo varios aminoácidos de uso comercial (Furuya & Umemiya, 2002). Los resultados más relevantes fueron que la urea fue la forma nitrogenada más eficiente y rápida de ser absorbida. La eficiencia de absorción de los aminoácidos, disminuía con el incremento de su peso molecular. Los más eficientes fueron la glicina y alanina. Luego de dos meses de la aplicación, las plantas fueron extraídas y divididas en diferentes órganos. Se pudo comprobar que la mayor parte del  $^{15}\text{N}$  aplicado permaneció en las hojas y que no existieron grandes diferencias en la movilidad del N en la forma de aminoácido (Cuadro 12.4).

**Cuadro 12.4.** Distribución del nitrógeno absorbido por diferentes compuestos nitrogenados aplicados foliarmente luego de dos meses en plantas de duraznero. Datos extraídos de Furuya & Unemiya, 2002.

Tratamiento	Hoja	Ramas	Tronco	Raíces	Frutos
Urea	71,5	10,8	2,6	7,7	7,4
Alanina	60,8	17,2	3,3	10,9	7,8
Ac. Glutámico	59,1	4,4	4,4	17,3	5,7
Glicina	59,2	18,4	8,1	7,5	6,8
Lisina	53,8	22,5	5,4	14,3	4,0

## APLICACIONES FOLIARES DE UREA

La aplicación foliar de urea es una herramienta muy útil, debido a que permite lograr altas eficiencias de absorción de hasta 60-70 % (Tagliavini *et al.*, 1998) e incluso de 75-90 % a las 48 horas de la aplicación (Tagliavini *et al.*, 2012). La concentración de urea en solución depende del estado fenológico. En términos generales, una vez que la canopia ha completado su desarrollo, las dosis fluctúan entre 0,3 y 0,6 %. Dosis más elevadas pueden provocar toxicidades y disminuir el área foliar.

Las aplicaciones postcosecha, como se ha puntualizado en este libro, son efectivas para incrementar las reservas en tejidos perennes (Sánchez *et al.*, 1991). En este período las dosis pueden ser mayores, entre 2 y 3 % para manzanos y 4-5 % en perales y carozo, ya que un pequeño daño foliar en los bordes de las hojas no compromete la fotosíntesis y transporte de asimilados a los frutos, precisamente porque éstos han sido cosechados.

La brotación de los frutales de hoja caduca, depende de las reservas de carbohidratos y minerales acumuladas en los órganos perennes. Entre éstos últimos, el nutriente que más ha sido estudiado es el nitrógeno. (Sánchez y Righetti, 1990; Sánchez *et al.*, 1990; Tagliavini *et al.*, 1997; Sánchez, 2000; Quartieri *et al.*, 2002). El período de removilización, depende de la cantidad de reservas acumuladas y normalmente dura de tres a cuatro semanas donde ya comienza a tomar importancia el nitrógeno

absorbido desde el suelo. Sin embargo, una vez concluida la removilización, el sistema radical puede no alcanzar a absorber suficiente N para cubrir los requerimientos para el intenso crecimiento inicial de frutos y brotes, debido a una baja temperatura edáfica, baja disponibilidad y/o excesos o déficit hídricos. En estos casos, la aplicación foliar de N puede cubrir deficiencias temporales (Tagliavini & Toselli, 2005), incrementar la concentración de N en hojas y frutos, aumentar el área foliar de los dardos y estimular el crecimiento de los frutos, tal como fue demostrado en perales Williams (Sánchez *et al.*, 2007; Curetti, 2009; Curetti *et al.*, 2013). Estas aplicaciones tempranas son especialmente indicadas si el N foliar en verano fue inferior a 2,2 % o si la cosecha de la temporada anterior fue muy abundante. Aplicaciones luego de noviembre están desaconsejadas en manzano porque retrasan la coloración de los frutos.

Como se ha señalado, la concentración de urea foliar cuando la canopia se ha desarrollado no debe superar 0,6 % para evitar posibles toxicidades. Sin embargo, la concentración de urea que pueden tolerar las jóvenes hojas en especies frutales pertenecientes a la familia de las Rosáceas al inicio de la brotación es sustancialmente mayor debido a la removilización de las reservas. En el INTA Alto Valle, se ha estudiado la concentración máxima de urea que puede ser aplicada sin causar daños severos en hojas de distintas especies frutales: cerezo, duraznero, manzano, peral y nogal durante tres temporadas (Curetti & Sánchez, inédito). Durante los primeros estadios fenológicos (Botón floral y Plena floración), la capacidad de intercepción y absorción de los árboles frutales se encuentra limitada debido a que las hojas recién comienzan su expansión. Una vez absorbida, la urea es hidrolizada por la enzima ureasa en el citoplasma de las células de las hojas, liberando dióxido de carbono y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Wang *et al.*, 2008). Posteriormente, el amonio es asimilado en aminoácidos que operan como moléculas transportadoras y pueden actuar como dadores de N en muchas reacciones celulares. Estas reacciones tienen un costo energético en el metabolismo celular y, de hecho, en nuestros ensayos se observa un retraso en la expansión foliar luego de la aplicación foliar de urea en altas concentraciones en todas las especies estudiadas.

En el Cuadro 12.5, se resumen las concentraciones máximas de urea para los primeros estadios fenológicos de distintas especies frutales. Es importante mencionar que al ser concentraciones límites, de ninguna manera son las recomendadas sino que manifiestan la variabilidad en la tolerancia a esta fuerte incorporación de N foliar. Los frutales de carozo (duraznero y cerezo) se comportaron como los más resistentes: la aplicación de urea al 10 % hasta caída de pétalos y 8% con posterioridad, no generaron daños superiores al 15 % del área foliar. En los frutales de pepita (manzano y peral), el daño considerado como límite es levemente superior hasta caída de pétalos (20 % del área foliar) y las concentraciones máximas determinadas fueron menores: entre 4 y 8%. Por último, también se estudió al nogal (perteneciente a la familia Juglandácea) el cual se manifestó como la especie más sensible, presentando severas necrosis con aplicaciones de urea al 2 %. Un aspecto interesante a mencionar es que hubo dos fechas en las cuales el daño generado fue anormalmente alto (15/10/2009 y 29/09/2010). En la primera de ellas se produjo una helada de  $-1,5\text{ }^\circ\text{C}$ , la cual puede haber estresado a los árboles e incrementado su sensibilidad. En tanto que luego de la segunda fecha mencionada, hubo un día nublado con una pequeña precipitación (1,4 mm), la cual puede haber generado una reabsorción de la urea depositada sobre las hojas. Estos dos eventos, refuerzan la importancia del efecto que ejercen las condiciones ambientales sobre las prácticas culturales en los montes frutales.

**Cuadro 12.5.** Concentración límite máxima de urea foliar según especie frutal y estadio fenológico, la cual genera daño en un 15-20 % del área foliar.

	Cerezo Stella	Duraznero O'Henry	Peral Williams	Manzano Galaxy
E: Botón floral	10%	10%	8%	6%
F: Plena floración	10%	10%	8%	6%
G: Caída de pétalos	10%	10%	6%	6%
H: Fruto cuajado	8%	8%	6%	4%
I: Fruto chico	8%	8%	4%	4%

## FACTORES QUE INCIDEN EN LA EFICIENCIA DE APLICACIÓN

Los factores que inciden en la eficiencia de la aplicación son varios y deben analizarse en conjunto. Los más importantes son el mojado de la hoja, el pH del caldo preparado, la concentración y compatibilidad de la solución y algunos factores ambientales como la temperatura, la luz y la humedad (Wójcik, 2004).

**Mojado de la hoja:** La solución asperjada debe cubrir totalmente la hoja. Los fertilizantes foliares comerciales tienen en su formulación “surfactantes” o “tensoactivos”, que disminuyen la tensión superficial de las gotas y permiten un buen contacto del fertilizante con la cutícula (Fernández *et al.*, 2013).

El ángulo de contacto de la gota asperjada con la superficie de la hoja es crítico, ya que debe ser lo más cercano a cero para que los solutos puedan efectivamente atravesar la cutícula. Las características de las ceras de la cutícula influyen en el correcto mojado de la hoja, aun con el agregado de tensoactivos, como se muestra en el Cuadro 12.6. Los ángulos de contacto en las hojas de duraznero son mayores que en las hojas de manzano. Además la cara abaxial o inferior de las hojas en ambas especies presentan mayores ángulos de contacto que la cara superior. Estos resultados concuerdan con el hecho de que las hojas de duraznero tienen mayor cantidad de ceras por unidad de superficie que las de manzano y que la cara inferior de la hoja es más rica en ceras que la cara superior. Para lograr un contacto adecuado de la solución con la hoja en manzanos es suficiente una concentración del tensoactivo X-77 de 0,1 %; pero esta cantidad es insuficiente en duraznero.

**Cuadro 12.6.** Ángulos de contacto en hojas de duraznero y manzano cuando son asperjados con agua o agua y tensoactivos (Leece, 1976).

	Duraznero		Manzano	
	Adaxial	Abaxial	Adaxial	Abaxial
Agua	91	111	71	95
0.01% X-77	73	81	40	43
0.1% X-77	46	52	0	0



En el mercado existen diversas formulaciones de surfactantes iónicos y no iónicos, que se utilizan cuando se hacen pulverizaciones con pesticidas y fertilizantes. En general, se prefieren los surfactantes no iónicos. Algunos estudios han corroborado que la adición de surfactantes no iónicos (Tween® y Triton x100®) a la aplicación de sales de Calcio, logró una mayor concentración de este elemento en hojas y frutos (Phan *et al.*, 2010). La concentración óptima de aplicación figura en los marbetes pero igualmente debería ser corroborado a campo, porque depende de la composición y cantidad de ceras de la hoja, el pH y el tipo de compuesto químico que se quiera asperjar.

**Potencial hidrógeno (pH):** Para cada nutriente existe un pH óptimo de absorción foliar. Por ejemplo, la absorción de boro es máxima a un pH cercano a 7 (Cuadro 12.7). Cuando se aplican fertilizantes foliares en conjunto con pesticidas se debe tener en cuenta el pH a efecto de optimizar el control de plagas. En general se prefiere un pH ligeramente ácido (5,5-6,5), que garantice la buena eficiencia de ambas prácticas.

**Cuadro 12.7.** Efecto del pH en la absorción de boro en hojas de duraznero (Shu *et al.*, 1991).

pH	Concentración de Boro en hojas (ppm)
Agua (control)	30
3	117
4	126
5	126
6	154
7	211
8	208

**Temperatura y humedad:** La temperatura, luz y humedad influyen mucho en la absorción foliar en forma directa e indirecta. Directa, cuando la temperatura es elevada y la humedad relativa ambiente baja, las gotas pueden evaporarse antes de alcanzar las hojas. En estas condiciones, es mayor la posibilidad de provocar toxicidades en la superficie de hojas y frutos. Indirectamente afectando el desarrollo y funcionamiento de las hojas, como la tasa fotosintética y la apertura estomática. Las condiciones ambientales óptimas son: la temperatura ambiente no debiera superar los 25° C. y la velocidad del viento no debería ser mayor a los 8 km/h (Tagliavini *et al.*, 2012) y se dan con más frecuencia a la mañana temprano y al atardecer.

## FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN FOLIAR

Algunos factores son especialmente importantes en determinar el grado de respuesta de la planta frente a una aplicación foliar. Entre ellos, vale citar a la concentración del nutriente en la solución a asperjar, la retención de esa solución por unidad de área foliar, el área foliar total de la planta y la redistribución del nutriente desde las hojas a los sitios de utilización (Weinbaum *et al.*, 2002). En el Cuadro 12.8 se señalan algunos valores que ilustran, para el caso de la aplicación foliar de urea en tres especies frutales, cuán distinta puede ser la absorción de nitrógeno por área foliar cuando se consideran los factores concentración, retención foliar y eficiencia de absorción. Los valores pueden diferir en varios órdenes de magnitud, destacándose el correspondiente al manzano en otoño.

**Cuadro 12.8.** Diferencias entre especies de parámetros que afectan la absorción de nitrógeno aplicado en forma de urea. Datos extraídos de Klein & Weinbaum (2000).

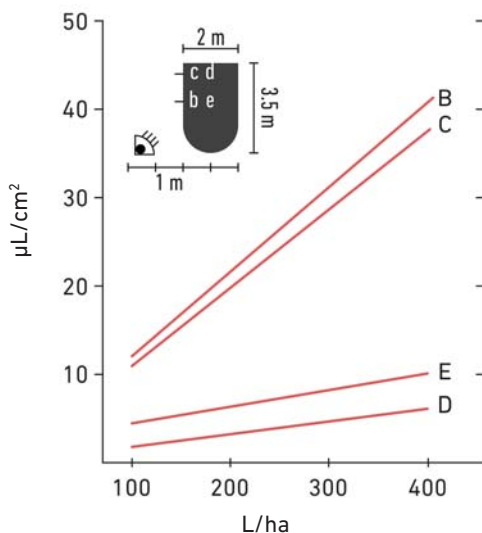
Parámetro	Manzano en		Almendro	Olivo
	Cuaje	Otoño		
Conc. Urea foliar (% p/v)	0,6	4,0	0,5	3,0
Retención hoja ( $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ )	6,0	6,0	1,0	1,9
Absorción de urea (%)	90	90	90	75
Absorción foliar de N ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	14,9	99,4	2,1	19,7

### Distribución de producto

El volumen de líquido aplicado por hectárea influye en la distribución del producto sobre la superficie foliar. En un ensayo realizado con aplicaciones foliares de bajos volúmenes realizadas en durazneros conducidos en espaldera se pudo observar que la deposición variaba en función del volumen de aplicación (100 a 400 litros por hectárea) y la posición de las hojas en la copa (Figura 12.4). El depósito de producto fue mayor en la periferia del árbol y a su vez éste se incrementaba con el mayor volumen de agua aplicado (Bukovac *et al.*, 2002).

Es importante mencionar que en nuestras regiones frutícolas la fertilización foliar se realiza normalmente en conjunción con otros tratamientos sanitarios en los cuales es crucial mojar bien la planta, y por ende se emplean volúmenes de aplicación altos. En este tipo de aplicaciones, la cantidad de fertilizante variará en consecuencia. No es lo mismo aplicar una solución diluida a una más concentrada. En esta última la cantidad de fertilizante depositada por centímetro cuadrado de hoja será siempre mayor. Por lo tanto si se incrementa el volumen de agua también se debería incrementar la cantidad de fertilizante foliar aplicado por hectárea. En relación a esto, cabe mencionar lo erróneo de expresar la recomendación de aplicación de los fertilizantes foliares en una determinada dosis por hectárea. No es lo mismo distribuir 5 litros de un fertilizante en 1.000 litros de agua que hacerlo en 2.000 litros. En el segundo caso al encontrarse más

diluido el fertilizante se aprovechará en menor medida. La recomendación debería realizarse en una concentración del producto por volumen de agua.



**Figura 12.4.** Efecto del volumen de aplicación en la deposición de producto en la copa de un frutal conducido en espaldera (Bukovac *et al.*, 2002).

La cantidad de volumen a aplicar depende fundamentalmente del tamaño de los árboles y de la densidad del follaje. Para la determinación del volumen de aplicación se encuentra difundido el término del TRV (del inglés *Tree Row Volume* que significa volumen de los árboles en la fila). Por ejemplo haciendo uso de esta metodología se determina que para el Alto Valle de Río Negro es necesario 0,0937 litros por cada metro cúbico del monte frutal. Es decir que cuanto más grande sea el volumen ocupado por la copa de los árboles en la fila mayor es la cantidad de agua y fertilizante a distribuir. Dicho volumen debe ser repartido uniformemente en todos los sectores del árbol. Sin embargo, el principio de funcionamiento de las máquinas pulverizadoras utilizadas hace que se presenten ciertas dificultades para alcanzar la parte alta e interna de los árboles, principalmente en aquellos de gran desarrollo.

La distribución de producto se mejora enormemente controlando el porte de los árboles y orientando la distribución en la parte alta, pero igualmente es difícil lograr una buena cobertura con bajos volúmenes de aplicación. Por otra parte, aun utilizando volúmenes de aplicación altos, en ocasiones la distribución de producto tampoco es uniforme. En el Cuadro 12.9, se observa la distribución de cobre, elemento utilizado como trazador, en distintas partes de la copa de los árboles (Magdalena *et al.*, 1994). Como se puede apreciar la distribución es poco uniforme y la deposición de producto varía hasta ocho veces entre la parte más baja de la zona externa de la canopia con respecto al el sector interno y más elevado donde las hojas reciben mucho menos producto. Cuanta mayor altura alcancen las plantas y mayor sea el volumen de su copa, más crítico es el momento del día y las condiciones ambientales para pulverizar correctamente.

**Cuadro 12.9.** Depósito de cobre en perales (ug/cm<sup>2</sup> hoja) luego de una aplicación foliar (Magdalena *et al.*, 1994).

Altura de la copa (m)	Parte externa	Parte interna
1,5	3,95	2,00
3,0	2,08	1,20
4,5	1,89	0,53

Cuando se pretende corregir una deficiencia nutricional o cuando la fertilización foliar se realiza en conjunto con un tratamiento sanitario, la cobertura total de la planta es un requerimiento ineludible. En cambio, cuando se aplica el fertilizante foliar solo para el mantenimiento del monte frutal, es posible disminuir el volumen de aplicación por hectárea. En estas condiciones se está aplicando menos cantidad de producto sin desmedro del fin perseguido.

En el Cuadro 12.10 se indica el volumen de pulverización requerido según se trate de corregir una deficiencia nutricional o hacer una aplicación de mantenimiento en un monte de manzano o peral plantado a 4 x 3 m y conducido en espaldera con una altura de 3 metros. En el primero de los casos el mojado de la copa es total, mientras que en el segundo la aplicación alcanza la totalidad de las hojas pero no toda su superficie.

**Cuadro 12.10.** Volumen de aplicación recomendado (litros por hectárea) en un monte en espaldera de manzano o peral según el estado fenológico y el nivel de corrección deseado (Sánchez, inédito).

	Deficiencia	Mantenimiento
Floración	1.000	600
30 días después de floración	1.800	1.200
Mediados del verano	2.600	1.800

### Influencia del hábito de crecimiento

Este factor es muy importante cuando uno decide en qué momento conviene actuar con una fertilización foliar. Si se compara, por ejemplo, la forma en la que desarrolla la copa un duraznero y un manzano surge a simple vista los momentos apropiados para corregir problemas nutricionales. Esto puede observarse en el Cuadro 12.11 que surge de un trabajo realizado muchos años atrás por Weinbaum (1988) en el cual se estudiaron conceptos básicos de fruticultura que son válidos para cualquier otra situación donde exista un desarrollo diferencial de la expresión vegetativa.

**Cuadro 12.11.** Desarrollo de la copa en duraznero y manzano según el tiempo transcurrido entre floración y cosecha (Weinbaum, 1988).

Porcentaje de tiempo entre floración y cosecha	Desarrollo de la copa	
	Duraznero	Manzano
10	-	36
20	-	74
30	-	89
40	-	92
50	50	97
60	65	100
70	78	100
80	90	100
90	98	100
100	100	100

Mientras que el manzano completa prácticamente el desarrollo vegetativo en dos meses a partir de la floración, el duraznero lo hace más lentamente. En consecuencia, el momento de realizar correcciones nutricionales en manzano es más crítico ya que es necesario actuar en un lapso más corto de tiempo.

Dentro de una misma especie, la respuesta de la planta a un fertilizante foliar puede variar si tienen hábitos de crecimiento diferentes. Un ejemplo típico es el manzano, donde se diferencian claramente los tipos *spur* y *standard*. Cuando se fertiliza por las hojas, las consecuencias de la aplicación foliar son distintas según se trate de nutrientes que se comporten como móviles o inmóviles. En una variedad *spur*, la captación del fertilizante no es alta por poseer menor área foliar que una variedad *standard*, pero ello no implica que la efectividad de la aplicación foliar sea inferior.

Si lo que se aplica es urea, ésta se metaboliza rápidamente y se distribuye en forma local. Frutos cercanos a las hojas son beneficiarios de ese nitrógeno, ya que la planta por su hábito de crecimiento no lo distribuye en el desarrollo de nuevos brotes o lo diluye en los brotes existentes. Por el contrario en una variedad *standard*, la urea que capta las hojas se distribuye en mayores puntos de crecimiento.

Si se fertiliza con un elemento inmóvil como cinc o hierro, no importa el hábito de crecimiento tenga la planta. Todo lo que sean capaces de retener las hojas, será lo que pueda absorberse localmente, ya que estos nutrientes no se dirigen al nuevo crecimiento ni a los frutos en cantidades significativas.

Desde el punto de vista práctico, se deduce que hay que extremar los cuidados cuando uno fertiliza con urea por vía foliar, ya que el riesgo de incrementar la concentración de nitrógeno en los frutos es alto (Sánchez *et al.*, 1995).

## ÉPOCAS DE APLICACIÓN

En términos generales, el calendario de fertilización foliar debería seguir lo sugerido en el Cuadro 12.12 para macro y micronutrientes con el fin de obtener la mayor eficiencia en la aplicación. Sin embargo, frente a la detección de una deficiencia, que se estime puede afectar la producción, cuanto más rápido se intervenga mejor.

Cinc y manganeso son muy efectivos cuando se aplican después de caída de pétalos y mientras exista crecimiento de los brotes. El hierro puede aplicarse en todo momento para prevenir clorosis. El boro se puede aplicar en floración y antes de caída de hojas.

**Cuadro 12.12.** Épocas óptimas de aplicación de nutrientes por vía foliar en frutales de pepita y carozo.

	Floración	Caída de pétalos	Crecimiento de fruto	2-4 semanas antes de cosecha	Después de cosecha, con follaje verde
N	X <sup>1</sup>	X <sup>1</sup>	X	X	X
P		X	X	X	
K			X	X	X
Ca			X	X	
Mg			X	X	
Fe			X	X	
Mn		X	X	X	
Cu					X
B	X	X			X
Zn	X	X	X		X <sup>2</sup>

1 Para reforzar reservas en caso de ser necesario.

2 En caso que se hayan evidenciado síntomas de deficiencia o valores por debajo de 12 ppm en el análisis foliar de verano.

Los elementos mayores como el nitrógeno se aplican mejor en forma de urea, la cual, de acuerdo al objetivo perseguido, se puede utilizar en la primavera, el verano o el otoño. El potasio se aplica generalmente en situaciones de estrés nutricional habitualmente después de la cosecha, a altas concentraciones en dos o más aplicaciones. El magnesio se aplica sólo a partir del mes de octubre en un mínimo de tres aplicaciones si se quieren obtener resultados y es necesario incluirlo en el plan de fertilizaciones foliares cuando se observa una elevada carga frutal. El fósforo no es un nutriente crítico en fruticultura pero dosis mínimas de ácido fosfórico y en repetidas oportunidades son de alguna utilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- BUKOVAC M.J.; COOPER J.A.; WHITMOYER R.E & BRAZEE R.D. 2002. Spray application plays a determining role in performance of systemic compounds applied to the foliage of fruit plants. *Acta Hort.* 594: 65-75.
- BURKHARDT, J. & EICHERT, T. 2001. Stomatal uptake as an important factor in foliar nutrition. *Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems*. Ed. WJ Horst: 1046-1047.
- CURETTI, M. 2009. Efecto de la aplicación foliar de urea sobre perales cv. Williams Bon Chretien en floración. Tesis Magister Scientiae. UNIBO-UNCO-INTA.
- CURETTI, M.; SÁNCHEZ E.E.; GIOACHINI, P. & TAGLIAVINI, M. 2013. Foliar-applied urea at bloom improves early fruit growth and nitrogen status of spur leaves in pear trees cv. Williams. *Scientia Horticulturae* 150:16-21.
- FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T. & BROWN, P. 2013. *Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices*. First edition, IFA, Paris, France, 140 pp.
- FURUYA, S. & UMEMIYA, Y. 2002. The influences of chemical forms on foliar-applied nitrogen absorption for peach trees. *Acta Hort.* 594: 97-103.
- KLEIN, I. & WEINBAUM, S.A. 2000. Fertilization of temperate-zone fruit trees in warm and dry climates. In *Temperate Fruit Crops in Warm Climates* (pp. 77-100). Springer, Dordrecht.
- LEECE, D.R. 1976. Composition and ultrastructure of leaf cuticle from fruit trees, relative to differential foliar absorption. *Aust. J. Plant Physiol.* 3:833-847.
- MAGDALENA, J.C.; DI PRINZIO, A.P.; AYALA, C.D. & VERONESI, A. 1994. Efecto de la variación de flujo de aire sobre la uniformidad de depósitos de cobre en perales conducidos en espaldera. *Proc. Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola*. Chillán, Chile. 13p.
- NORRIE, J.; BRANSON, T. & KEATHLEY, P.E. 2002. Marine plant extracts impact on grape yield and quality. *Acta Hort.* 594: 315-319.
- PHAM, T.T.M.; SINGH, Z. & BEHBOUDIAN, M.H. 2010. Different surfactants improve the calcium uptake into leaf and fruit of sweet orange and reduce albedo break down. In: *Proceedings of the XIth international citrus congress*, Wuhan, China, vol 1: 595-602.
- QUARTIERI, M.; MILLARD, P. & TAGLIAVINI, M. 2002. Storage and remobilization of nitrogen by pear trees as affected by timing of N supply. *Eur. J. Agr.* 17: 105-110.
- SÁNCHEZ, E.E. & RIGHETTI, T.L. 1990. Tree nitrogen status and leaf canopy position influence postharvest nitrogen accumulation and efflux from pear leaves. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 115 (6):934-937.
- SÁNCHEZ, E.E.; RIGHETTI, T.L.; SUGAR, D. & LOMBARD, P.B. 1990. Seasonal differences, soil texture and uptake of newly absorbed nitrogen in field-grown pear trees. *J. Hort. Sci.* 65: 395-400.

- SÁNCHEZ, E.E.; RIGHETTI, T.L.; SUGAR, D. Y LOMBARD, P.B. 1991. Recycling of nitrogen in field grown 'Comice' pears. *J. Hort. Sci.* 66:479-486.
- SÁNCHEZ, E.E.; KHEMIRA, D.; SUGAR, D. & RIGHETTI, T.L. 1995. Nitrogen management in orchards. *En: Nitrogen fertilization in the environment.* (ed.) P.E. Bacon Marcel Dekker. New York, pp: 327-380.
- SÁNCHEZ, E.E. 2000. Nitrogen nutrition in pear orchards. *Acta Hort.* 596:653-657.
- SÁNCHEZ, E.E.; SUGAR, D. & CURETTI, M. 2007. Foliar application of urea during bloom increase fruit size in "William`s" pear. *Acta Hort.* 800, 583-586.
- SCHÖNHERR, J. 2002. Foliar nutrition using inorganic salts: laws of cuticular penetration. *Acta Hort.* 594:77-84.
- SHU, Z.H.; WU, W.Y. & OBERLY, G.H. 1991. Boron uptake by peach slices. *J. Plant Nutr.* 14: 867-881.
- TAGLIAVINI, M.; QUARTIERI, M. & MILLARD, P. 1997. Remobilised nitrogen and root uptake of nitrate for spring leaf growth, flowers and developing fruits of pear trees. *Plant and Soil* 195, 137-142.
- TAGLIAVINI, M.; MILLARD, P. & QUARTIERI, M. 1998. Storage of foliar-absorbed nitrogen and remobilization for spring growth in young nectarine trees. *Tree Physiol.* 18:203-207.
- TAGLIAVINI, M. & TOSELLI, M. 2005. Foliar application of nutrients. *In: Hillel, D., (Ed.), Encyclopedia of Soils in the Environment.* Elsevier, Oxford, U.K.
- TAGLIAVINI, M.; FAILLA, O. & XILOYANNIS, C. 2012. La fertilizzazione nell`arboreto. *En: Arboricoltura Generale.* De Sansavini S. Patrón editore, Bologna, Italy.
- WANG, W.H.; KÖHLER, B.; CAO, F.Q. & LIU, L.H. 2008. Molecular and physiological aspects of urea transport in higher plants. *Plant Science* 175: 467-477.
- WEINBAUM, S.A. 1988. Foliar nutrition of fruit trees. *En: Plant growth and leaf-applied chemicals.* (Ed. P. M. Neumann), CRC Press, 178 pp.
- WEINBAUM, S.A.; BROWN, P.H. & JOHNSON, R.S. 2002. Application of selected macronutrients (N, K) in deciduous orchards: physiological and agrotechnical perspectives. *Acta Hort.* 594: 59-64.
- WOJCIK, P. 2004. Uptake of mineral nutrients from foliar fertilization. *Journal of fruit and ornamental plant research*, 12.



*capítulo*

# 13

## FERTIRRIEGO

El fertirriego se define como el agregado de fertilizantes solubles al sistema de riego. Esta técnica es empleada desde hace más de 50 años en cultivos hortícolas bajo cubierta y muy pronto pasó al cultivo de frutales, donde es una práctica obligada en las plantaciones modernas. Esta herramienta permite entregar el agua y nutrientes a las plantas según los requerimientos estacionales.

Si bien el agregado de fertilizantes al agua es compatible con cualquiera de los sistemas de riego conocidos, sean éstos por gravedad o presurizados, el fertirriego está asociado principalmente, al riego por goteo.

### Ventajas de la fertirrigación

Algunos de los beneficios de incluir nutrientes en el riego son:

1. Reducción en el costo de aplicación del fertilizante.
2. Aumento en la eficiencia de aplicación de los fertilizantes, principalmente en el riego por goteo.
3. Minimización de las pérdidas por lixiviado de nitratos.
4. Mejora en el manejo del momento de aplicación del fertilizante.
5. La respuesta de la planta es prácticamente inmediata.

### Posibles limitantes de la fertirrigación

Algunas de las limitantes que puede ofrecer esta técnica, son las siguientes.

1. Si la distribución del agua no es uniforme, tampoco lo será la distribución del fertilizante.
2. Es imposible fertilizar árboles de manera individual, a excepción de que se emplee la técnica de precisión con geo referencias de sectores particulares.
3. En el caso de riego por goteo, se corre el riesgo de acidificar el suelo en la región del bulbo húmedo cuando se emplean reiteradamente fertilizantes amoniacales.
4. Cuando el riego es por microaspersión, se fertiliza una mayor superficie de suelo que la ocupada por las raíces del frutal. En consecuencia, se requiere mayor cantidad de desbrozadas en el espacio entre filas.
5. El manejo de la fertirrigación requiere mayor conocimiento de la nutrición de los frutales en lo referente a necesidades, dosis y momentos de aplicación.
6. El costo de los fertilizantes es mayor porque los mismos deben ser totalmente solubles.
7. En el caso de mezclas líquidas ya preparadas, el costo de transporte desde la fábrica/distribuidor/finca es elevado por unidad de nutriente ya que se transporta también agua.
8. La incorporación de micronutrientes, en general, no es tan efectiva como en la aplicación foliar, debido a los procesos de inmovilización en el suelo (en el caso de los metales pesados). La excepción es el hierro en suelos con alto contenido de caliza activa.

La mayoría de las plantaciones modernas situadas en zonas áridas, se realizan con sistemas de riego presurizados tipo microaspersión, microjet o goteo. De todos los sistemas presurizados, el goteo es el que permite mayor aprovechamiento del agua de riego al aportar en forma diaria un volumen de agua por planta en una zona limitada del suelo.

A diferencia de la microaspersión o del microjet, donde la superficie regada suele ocupar la mayor parte de la superficie, el goteo limita el crecimiento radical a la zona mojada. Dependiendo del tipo de suelo y de la erogación de los goteros (sean por ejemplo de 2 o 4 litros por hora) el movimiento del agua progresa tanto en superficie como en profundidad creando un volumen característico de mojado. En él, los nutrientes adicionados, se distribuyen dependiendo de la movilidad y de las reacciones de adsorción y precipitación que ocurren con las partículas de suelo.

El nutriente más ampliamente utilizado en fertirriego es el nitrógeno. Mientras la planta es joven y la demanda mineral no es alta, la fertilización a través del goteo se realiza generalmente con nitrógeno. Sin embargo, a medida que la planta crece y demanda mayor cantidad de nutrientes, se adosan otros como el P, K y Mg. En muchas regiones, la fertirrigación con potasio está cuestionada debido a la alta disponibilidad del elemento en el suelo. Sin embargo, si la demanda es muy elevada y el volumen de suelo ocupado por las raíces es restringido es posible esperar respuestas a la fertilización potásica.

A manera de ejemplo, en el Cuadro 13.1, se muestra la concentración foliar de N, P y K en manzanos 'McIntosh', que recibieron únicamente fertilización a base de N y P durante 3 años. Como se aprecia, la omisión del K se hizo notar en el análisis foliar al disminuir la concentración en hoja hasta un nivel deficiente. La demanda de K por parte de los frutos es elevada y el rendimiento creciente derivó en la manifestación de una clara deficiencia. Conceptualmente, es importante rescatar de esta experiencia la necesidad de fertilizar con aquellos nutrientes que requieren mayor demanda y que el suelo no puede proveer.

**Cuadro 13.1.** Concentración foliar de macronutrientes y rendimiento en los primeros tres años en manzano cv. McIntosh/EM9 fertirrigados anualmente con 40 g N y 17,5 g P por árbol (Neilsen *et al.*, 1995).

Año	Concentración foliar			Rendimiento
	N	P	K	
	----- % -----			kg árbol <sup>-1</sup>
1	2,11	0,25	1,39	0
2	2,62	0,26	1,34	5,16
3	2,81	0,26	0,82	8,27

## Dinámica de nutrientes en el suelo

El conocimiento del comportamiento de los nutrientes en el suelo, es central para lograr una mayor eficiencia del fertirriego. La distribución de los nutrientes en el bulbo húmedo de riego, depende de la movilidad de los mismos y del momento del agregado de la solución fertilizante durante el período de riego. Si la fertilización se realiza al inicio del riego, los nutrientes se concentrarán en la parte más baja del bulbo húmedo; mientras que, si la fertirrigación se realiza al final del riego, los nutrientes quedarán concentrados en la parte más superficial (Tagliavini *et al.*, 2012).

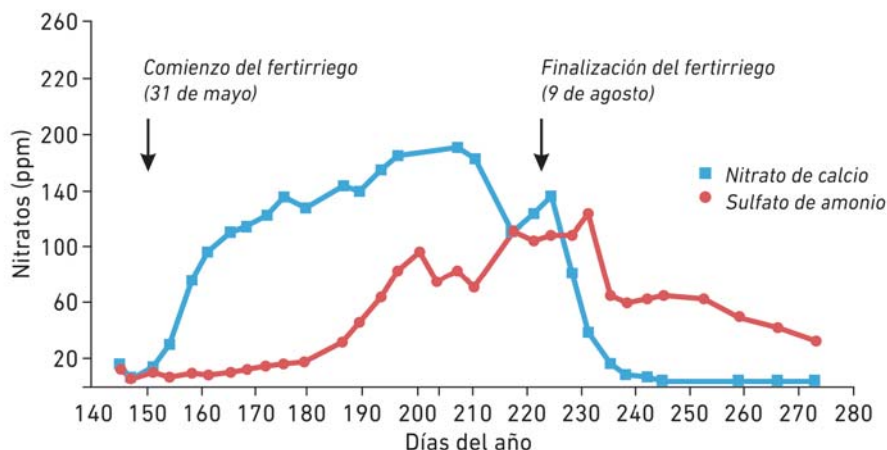
El nitrógeno es, sin duda, el nutriente más empleado en esta técnica. Por más que se apliquen fuentes amoniacales, el destino final es el ion nitrato, caracterizado por su alta movilidad. Conocer el movimiento de nitratos en el suelo a lo largo del año permite manejar mejor el riego y la fertilización, posibilita dosificar una concentración óptima de nitrógeno en la zona radical y minimiza el lavado de fertilizante causando escaso o nulo impacto ambiental.

Los trabajos que existen en fruticultura sobre monitoreo de nitratos en condiciones de campo, son escasos en comparación con otros cultivos. La contaminación de aguas subterráneas con nitratos es un problema grave en áreas densamente pobladas cercanas a producciones intensivas, como los valles de San Joaquín y de Napa en California. Allí hay estudios porque la problemática existe, en cambio en zonas aisladas conocer la dinámica de los nitratos interesa para mejorar la eficiencia de aplicación de los fertilizantes nitrogenados. En la fertilización convencional, el costo del fertilizante no incide mucho en el costo total de producción de fruta y la necesidad de ahondar en temas de eficiencia, a pesar de la necesidad de incorporar al manejo prácticas más sostenibles, todavía no parecen ser prioritarias. En fertirriego, el monitoreo constante de la dinámica de los nitratos en la zona de exploración de las raíces es fundamental.

Economizar en el uso de fertilizantes es importante, no sólo por el mayor costo de éstos, sino que al ser mejor la respuesta por parte de la planta, todo exceso se traduce en mayor vigor vegetativo y menor calidad de fruta.

Tal vez, conocer la dinámica de nitratos no es importante desde el punto de vista ambiental en suelos donde al metro de profundidad haya una capa impermeable de roca o carbonato de calcio, pero sí es importante conocer si se mantiene la concentración de nitratos requerida por la planta en tal o cual estado fenológico. Así como es importante aportar nitrógeno en un momento del ciclo de crecimiento, también puede resultar de interés establecer un estrés en otro momento.

Cuando la fuente de nitrógeno es el nitrato, el monitoreo es mucho más sencillo; pero cuando es el amonio se complica porque la liberación de nitratos es lenta al comienzo, pero continúa cuando se corta la fertilización. Como se sabe, la conversión de amonio a nitrato en el suelo puede demorar varios días, dependiendo fundamentalmente de la temperatura de éste. Por esta razón, si se emplea una fuente amoniacal de nitrógeno, es de esperar la aparición de nitratos por varias semanas posterior al corte de la fertilización (Figura. 13.1).



**Figura 13.1.** Dinámica de nitratos en la solución del suelo a 30 centímetros de profundidad debajo del emisor, en respuesta al agregado de la misma cantidad de nitrógeno como nitrato de calcio o sulfato de amonio. Las fechas corresponden al Hemisferio Norte (Nielsen *et al.*, 1998).

Cuando la fuente de nitrógeno es el nitrato, la concentración en el suelo es prácticamente la misma que su concentración en la solución de riego en un comienzo. Si se trabaja en concentraciones del orden de las 60-80 ppm de nitrógeno en los primeros 30-40 centímetros de suelo durante el período de crecimiento de los brotes (alta demanda), la absorción es tan rápida que no da lugar a la posibilidad de lixiviado. En cambio, cuanto más se riegue y mayor sea la concentración de la solución nutritiva mayor será la posibilidad de lavado y menor será la eficiencia de aplicación del fertilizante.

Para un mejor y más eficiente manejo, es práctico y conveniente realizar el monitoreo de los nitratos en dos profundidades de suelo en la zona del emisor: a los 20 centímetros, profundidad con gran densidad radical, y en el límite inferior, donde ya no es significativa la presencia de raíces. Esta profundidad varía en la mayoría de los suelos y en las plantaciones de alta densidad se sitúa alrededor de los 60 centímetros de no existir impedimentos físicos. El muestreo se realiza colocando un tubo de succión de manera permanente en el suelo, del cual se extraen muestras líquidas periódicamente. El análisis es muy sencillo y se puede realizar por métodos colorimétricos cuantitativos usando instrumental simple en el mismo lugar donde se extrae la muestra. Concentraciones de nitratos de 15 ppm en la solución de suelo indican una adecuada disponibilidad de N para el cultivo y que no sería necesario realizar una fertilización (Tagliavini *et al.*, 2012).

La respuesta de la planta frente al nitrógeno aplicado con el riego, es similar a la respuesta que se obtiene mediante la forma tradicional de aplicación al voleo o localizada con la diferencia de que se ahorra mucho más fertilizante. A manera de ejemplo basta citar el trabajo realizado en montes de alta densidad de manzanos 'Superchief' en el que se determinó que el aporte de N por encima de una dosis de 50 kg/ha no se tradujo en una mayor producción (Thalheimer & Paoli, 2017).

En California, Southwick *et al.* (1999), estudiaron en ciruelos 'DÁgen', el efecto de aplicación de urea a través del riego por goteo a razón de 0, 50, 100 y 200 kg N/ha, subdivididos en 10 aplicaciones iguales cada 15 días durante la primavera y verano. Los resultados demostraron que aplicaciones entre 50 y 100 eran suficientes para obtener buen rendimiento, crecimiento vegetativo y óptima calidad del cultivo, a la vez que se minimizaban pérdidas por lavado.

Vale acotar que, a pesar de distribuir la urea en dosis muy bajas en cada riego, siempre existe un mínimo de lavado. Los autores monitorearon la concentración de nitratos hasta una profundidad de 244 centímetros y observaron niveles crecientes a medida que aumentaba la dosis. Se sabe que la eficiencia de aplicación de nitrógeno por fertirriego no es del 100 %, por lo tanto, es fundamental, aun en el riego por goteo, calcular el agua aplicada. Se recuerda lo expresado en el capítulo 2 en cuanto a la distribución radical, que con preferencia es más bien superficial con escasa presencia de raíces por debajo del metro de profundidad.

La gran movilidad del nitrógeno, contrasta con la del fósforo. Aun así, es posible lograr una limitada movilidad al cabo de algunos años de aplicar en superficie una fuente soluble como superfosfato de calcio (Neilsen & Hogue, 1992). Cuando se habla de movilidad, se hace referencia a escasos 30-40 centímetros en suelos de textura arenosa. En el caso de suelos con material textural mucho más fino, la movilidad es considerablemente menor. De allí la importancia de incorporar el fósforo en el suelo, para ponerlo al alcance de las raíces.

En cambio, si una fuente fosforada soluble es adicionada al agua de riego, específicamente en el riego por goteo, la movilidad del fósforo se incrementa notablemente. La razón es que en el riego por goteo se llega a saturar los puntos de fijación de fósforo por agregado continuo en el mismo volumen de suelo; en cambio, en un sistema de riego por microaspersión, el fertilizante se diluye más en una mayor superficie de suelo.

Resultados de ensayos donde se compara la nutrición fosforada en los primeros años de plantación, hablan claramente de las ventajas del fertirriego con respecto a la incorporación de fósforo en el sitio de plantación.

El potasio representa una situación intermedia entre el nitrógeno y el fósforo. El agregado de fertilizantes potásicos al riego por goteo es muy eficiente, a tal punto que es posible corregir deficiencias en un corto plazo de tiempo (Uriu *et al.*, 1980; Callan & Wescott, 1996). En frutales de carozo, donde el consumo de potasio es muy elevado y es frecuente encontrar deficiencias, la aplicación tradicional demora bastante tiempo en actuar porque no es sencillo localizar el fertilizante en la zona de raíces.

Dosis mínimas pero continuas de potasio previenen desequilibrios nutricionales y evitan deficiencias en los árboles. En manzanos 'Gala', 'Fuji', 'Fiesta' y 'Spartan' se ha determinado que una dosis de 15 g de K por planta y por año aplicados con el fertirriego en los primeros 5 años de plantación previene la deficiencia de K manifestada por índices de concentración foliar en hoja inferiores al 1 % y de concentración de K en fruto inferior a los 100 mg por 100 g de fruto fresco (Neilsen *et al.*, 2004). Asimismo, la concentración de K en la solución del suelo se mantenía en un nivel superior a 5 mg/L, considerado insuficiente para obtener buen tamaño de fruta.

La movilidad del potasio cuando es aplicado en conjunto con el agua de riego, puede llegar a los 60 o 70 centímetros de profundidad en un radio cercano a los 60 centímetros del emisor como lo demuestra el Cuadro 13.2, para un ensayo de fertirriego con potasio en un monte de ciruelo deficiente en dicho nutriente (Uriu *et al.*, 1980).

La respuesta de la planta es tan buena que se debe monitorear en las hojas los niveles de calcio y magnesio, ya que se puede originar un desequilibrio entre estos cationes. En frutales de carozo, el antagonismo K-Ca no es tan importante como en manzano, dónde es importante evaluar la dosis correcta y los momentos de aplicación, para lograr mantener su nivel en la planta en un grado óptimo sin inducir deficiencia de magnesio en las hojas o de calcio en los frutos.

**Cuadro 13.2.** Potasio extractable (mg/kg) en un suelo franco arcilloso a diferente profundidad y distancia del emisor al final de la estación de crecimiento. Las plantas de ciruelo fueron fertirrigadas con 2,25 kg de sulfato de K por emisor (Uriu *et al.*, 1980).

Profundidad (cm)	Fertirriego			Control		
	Distancia del emisor (cm)			Distancia del emisor (cm)		
	0	30	60	0	30	60
0-15	919	622	416	221	248	307
15-30	774	264	215	123	147	188
30-45	483	98	119	88	98	98
45-60	567	102	96	63	63	63
60-75	90	76	70	63	66	55

La situación de los micronutrientes es algo diferente frente al fertirriego. Como es sabido, la deficiencia de micronutrientes es muy común en los frutales siendo necesarias intervenciones foliares para aliviar dichas carencias. La manera tradicional de aplicar los elementos menores es a través de pulverizaciones foliares, debido a la escasa cantidad de nutrientes requeridos y a la compatibilidad de las formulaciones con los pesticidas más habituales.

Diversos autores han investigado la factibilidad de incorporar micronutrientes a través del fertirriego. En pistacho, la fertirrigación con cobre (Cu) y cinc (Zn) durante dos años fue menos eficiente que las aplicaciones foliares (Kallsen *et al.*, 2000). De ninguna manera esto significa que la planta no responda al fertirriego, sino que la cantidad de fertilizante requerida es sustancialmente mayor que la utilizada en la aplicación foliar para obtener resultados comparables (Neilsen & Neilsen, 1994).

A lo dicho, merece una salvedad el caso de la nutrición con hierro en suelos con elevado contenido de caliza activa, como son muchos de los suelos en España, dónde la manera más eficiente nutrir a la planta es a través del fertirriego con quelatos de hierro. En estas producciones el costo más elevado de la fertilización, está justamente en el agregado de este nutriente.

## Dosificación de nutrientes

Sin duda, en este particular, está enmarcado el programa estacional de entrega de los nutrientes requeridos. En sentido estricto, se debe acoplar la demanda con la oferta, entendiendo por ésta última a los nutrientes aportados por el suelo y por el fertilizante. Cabe recordar, que al inicio de la brotación, la absorción de nutrientes es muy baja y que se incrementa de manera importante al iniciar el período de activo crecimiento de los brotes (Neilsen & Neilsen, 2002).

Si bien en general, la producción de los frutales de clima templado predomina en regiones áridas y semiáridas, donde el desarrollo radical se limita a la zona con suficiente humedad del suelo, también se da en otras, donde las precipitaciones mantienen cierto contenido hídrico y permiten la exploración de las raíces más allá del bulbo húmedo. En estos casos, la oferta nutricional es mayor y menor será la adición de fertilizantes. Se deberá tener en cuenta que si el riego es por microaspersión, a diferencia del goteo, se estarán distribuyendo los fertilizantes en una superficie mayor de suelo. En estos casos, la aplicación de fósforo y potasio será menos eficiente, ya que éstos se acumularán en la superficie del suelo, lejos del contacto con las raíces.

Por lo expresado, el primer paso es conocer la oferta nutricional en el volumen de suelo explorado por las raíces. Luego, se deberá estimar la demanda estacional de acuerdo a la especie de manera tal de adicionar los nutrientes necesarios en las cantidades suficientes.

En los frutales que nos competen, la dosificación en los primeros dos o tres años, donde el crecimiento de la planta es vegetativo, se estiman entregas fundamentalmente de nitrógeno que acompañan el desarrollo de la copa a partir de la brotación y hasta mediados del verano, momento en que es necesario frenar el crecimiento y permitir una normal entrada al estado de senescencia.

Para plantaciones en producción, la entrega estacional (ya sea diaria o semanal) de los nutrientes se basa en estudios previos de la concentración de los nutrientes en las hojas y frutos a lo largo del ciclo, el crecimiento de estos componentes y en el rendimiento de fruta esperado.

En plantas jóvenes, estos estudios se han realizado en condiciones controladas mediante métodos destructivos (Cheng & Raba, 2009). En estos estudios, las plantas se excavan periódicamente en distintos momentos del año y una vez separadas en sus distintos órganos, se analizan sus contenidos nutricionales. De esta manera es posible ir viendo los incrementos estacionales y el incremento anual para cada nutriente lo que permite estimar los momentos de máxima y mínima demanda. Igual metodología se sigue en plantaciones adultas aunque estos estudios no son comunes. Vale mencionar las investigaciones realizadas en almendros en California para optimizar la fertilización nitrogenada y potásica en este cultivo, cuyas demandas son muy elevadas (Muhammad *et al.*, 2015).



## Fertilizantes más empleados

Los fertilizantes para ser aplicados en fertirriego, pueden ser sólidos o líquidos. Estos últimos tienen la facilidad de aplicación, en especial cuando se fertirriega en grandes extensiones. En regiones donde existe concentración de la producción, las firmas proveedoras de fertilizantes disponen de varios grados, usualmente de NPK, e incluso pueden preparar especialmente otras formulaciones a solicitud del usuario. En las fincas, es común observar grandes tanques de PVC, ubicados en lugares donde parte el sistema de riego. Una desventaja que puede ofrecer las formulaciones líquidas es el costo del transporte, en aquellas regiones donde la distancia entre el lugar de fabricación y el destino final es larga. El transporte de fertilizantes sólidos por unidad de nutriente siempre será menor a las formulaciones líquidas ya que en estas últimas se transporta también agua.

En cuanto a los fertilizantes sólidos, es fundamental que sean de alta solubilidad, además interesa conocer la temperatura que generan cuando son solubilizados y el pH una vez disueltos en el agua de riego. Para asegurar una correcta disolución de los fertilizantes, se recomienda un tiempo mínimo de solubilización de veinte minutos.

La concentración salina final del agua de riego no debe ser elevada, en este sentido se debe tener en consideración a los iones acompañantes de los mismos ya que éstos no son absorbidos en la misma proporción que el nutriente principal y pueden incrementar la salinidad del suelo. La calidad del agua de riego es central, ya que si se parte de aguas con una conductividad eléctrica entre 0,25 y 0,75 dS/m, existe el peligro de salinizar el suelo.

Quien emplee fertirriego, debe analizar la calidad del agua de riego y determinar el nivel de salinidad y concentración de posibles elementos tóxicos. Los principales componentes de la salinidad son los cationes calcio, magnesio y sodio y los aniones cloruro sulfato y bicarbonato. Si se sospecha de aguas con alta concentración de boro, se debe analizar este nutriente por su carácter tóxico.

Del mismo modo, se debe monitorear la salinidad del suelo extrayendo muestras a unos 10 centímetros del emisor y dos o tres profundidades de suelo, siempre en la zona de crecimiento de raíces. En huertos frutales puede ser suficiente la toma de muestras dos veces al año, pero si se usa agua de salinidad relativamente alta, el muestreo debe realizarse más frecuentemente con el propósito de realizar riegos de lavado.

En cuanto a los fertilizantes sólidos a emplear, es importante destacar, que deben ser de muy alta pureza y ciento por ciento solubles en agua, porque no deben dejar residuos ni precipitados que puedan obstruir los goteros. Por esta razón, el costo de una tonelada de fertilizante hidrosoluble para fertirriego, es mucho mayor que el mismo formulado para una aplicación al suelo. Las sales más comunes que se utilizan en fertirriego se indican en el Cuadro 13.3.

**Cuadro 13.3.** Propiedades de los fertilizantes granulares más comunes.

Fertilizante	Fórmula Química	Elemento (%)	Solubilidad (g/L)	Índice Acidez <sup>1</sup>
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46% N	670 a 0°C 1080 a 20°C	71
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	15,5% N	1290 a 20°C	-20
Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	13% N +39% K	130 a 0°C 320 a 20°C	-26
Fosfato diamónico	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	18% N +20% P	~650 a 20°C	70
Fosfato monoamónico	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	11% N +23% P	380 a 20°C	58
Cloruro de potasio	KCl	50% K	340 a 20°C	neutro
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21% N	750 a 20°C	110
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	9% Mg	710 a 0°C	-

<sup>1</sup> Cantidad de carbonato de calcio necesario para neutralizar 100 kilos de fertilizante.

## Nitrógeno

Es el nutriente más aplicado en fertirriego en plantaciones frutales por la practicidad de manejo y los buenos resultados que se obtienen. El nitrógeno en las soluciones para fertirriego está disponible en tres formas; nitrato, amonio y urea. En la preparación de las soluciones madres, es importante verificar la solubilidad. Rara vez en condiciones de campo se llega a los valores máximos que indican las tablas. Parte del problema radica en la disminución de la temperatura del agua al agregar el fertilizante, como es el caso de la urea. Como se sabe, la disolución de estos fertilizantes es mayor a mayor temperatura del agua.

La urea es bastante empleada en fertirriego por ser no iónica, en consecuencia no saliniza la solución ni reacciona directamente con otros nutrientes y porque la acidez por unidad de nitrógeno es la mitad que la de otros fertilizantes amoniacales. Se debe emplear aquella que está formulada para fertirriego, ya que la común posee productos acondicionantes que obstruyen los goteros. El nitrógeno proveniente de la urea no se encuentra inmediatamente disponible lo cual debe tenerse en cuenta si se requiere una respuesta rápida del cultivo.

La solución UAN es una mezcla líquida de urea (50 %) y nitrato de amonio (25-25 %) y es una buena fuente de N empleada en fertirriego. En el mercado se encuentra, por ejemplo, el UAN 30 ó 32. Es un fertilizante de reacción ácida. También se emplea la fosfo-urea, que es una mezcla de urea y ácido fosfórico, con menores pérdidas de volatilización que la urea.

El nitrato de calcio cristalino (N15, Ca 19), es una fuente excelente, pero de uso más hortícola como fuente de calcio. En suelos salinos, además del nitrógeno aporta calcio que desplaza al sodio absorbido en la arcilla. No se debe mezclar fertilizantes que contengan calcio con ácido fosfórico porque se forma fosfato de calcio, el cual obstruye los emisores.

El ácido nítrico se utiliza como corrector de pH de la solución madre. También es empleado para evitar precipitaciones calcáreas que obstruyan los goteros.

### Fósforo

Cuando se riega por goteo y el bulbo húmedo no alcanza a cubrir un volumen de suelo extenso, se hace necesario recurrir al fósforo. Los fertilizantes tradicionales a base de fosfato de calcio no son lo suficientemente solubles, en cambio el ácido fosfórico es una fuente excelente del elemento siendo la fuente más empleada en fertirriego. Esta alternativa no sólo tiene un efecto nutricional, también resulta acidificante de la solución de fertirriego y desincrustante del sistema de riego.

El fosfato monoamónico (N11, P23) tiene un bajo índice salino y a una concentración de 0,25 g/L tiene un pH de 5,3. Es una fuente interesante de fósforo pero presenta la desventaja de poseer baja solubilidad, siendo necesario disolverlo a una temperatura alta. En cambio, el fosfato monopotásico (P23, K29), es muy soluble y genera muy poca salinidad pero de elevado costo.

En frutales, la deficiencia de fósforo es prácticamente inexistente en condiciones donde la raíz puede explorar a discreción un volumen amplio de suelo, a ello se suma la asociación con hongos micorrízicos que explican por qué los niveles foliares de fósforo son normales en suelos con disponibilidad inferior a la normal. En cambio cuando se riega por goteo y las raíces se concentran en un volumen de suelo pequeño, es necesario el agregado de fósforo. Cuando se utilizan fertilizantes fosfatados se debe tener en consideración la calidad del agua de riego, ya que de ser rica en calcio y magnesio, el fósforo precipita tornándose no disponible.

Aun con aguas con bajo contenido de los mencionados cationes, se deben emplear ácidos con el fin de evitar incrustaciones calcáreas en los goteros, siendo los más comunes los ácidos nítrico y fosfórico. Se recomienda el segundo, ya que a pesar de ser un ácido medianamente fuerte, es más fácil de manejar que el nítrico. Estos ácidos deben usarse diluidos, preparado una solución madre. En el caso del ácido fosfórico, su aplicación es incompatible con fertilizantes que contengan calcio y magnesio y sales de hierro ya que produce precipitados insolubles.

### Potasio

El potasio es la forma más estable de todos los nutrientes primarios aplicados por fertirrigación ya que permanece en la misma forma química como catión monovalente (Kafkafi & Tarchitzky, 2012). El cloruro de potasio (K 50) es el fertilizante más empleado, es soluble, se disuelve muy rápidamente y es compatible con la mayoría de los fertilizantes. La desventaja que tiene, radica en la toxicidad que causa el ion cloruro, que aunque móvil en el suelo provoca un estrés en la planta debido a su rápida asimilación. En caso de el cloruro de potasio, es importante regar el suelo con mayor volumen de

agua para evitar una alta concentración de cloruros. El efecto tóxico del cloruro también se puede aliviar manejando la época de fertilización.

Para suelos salinos, se prefiere al sulfato de potasio siempre que el agua de riego no sea rica en calcio. El sulfato de potasio (K42, S18) es más complicado para su empleo en fertirriego debido a su baja solubilidad (110 g/L a 20 °C).

La tercera fuente de potasio para fertirriego es el nitrato de potasio (N13 K39). Aporta dos nutrientes primarios pero es el menos empleado en frutales por su elevado costo. Es altamente soluble a una temperatura de 20 °C pero disminuye mucho su solubilidad a 0 °C (Tabla 13.3), razón por la cual si la temperatura de la solución madre baja, puede precipitar. En formulaciones líquidas, es la fuente preferida de potasio.

### Magnesio y micronutrientes

Tanto el nitrato como el sulfato de magnesio son eficientemente empleados en fertirriego al ser ambas muy solubles. El nitrato de magnesio cristalino es de alta solubilidad y reacciona dando un carácter ácido. A una concentración de 1 g/L tiene un pH de 5,4 y una CE de 0,86 mS/cm. El sulfato de magnesio ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) con grado Mg 9, S13, es la fuente más aplicada

Los quelatos y sulfatos de hierro, manganeso, cinc y cobre son igualmente empleados aunque la forma de aplicación foliar es más eficiente, con la salvedad indicada para el caso del hierro en suelos con elevado contenido de caliza activa. Igualmente, en estos casos, la elección del quelato es muy importante. El Fe EDTA no es estable a pH por encima de 6,5 y prácticamente se descarta como fertilizante en suelos alcalinos, en cambio el más empleado en esas condiciones es el Fe-EDTA que es estable hasta un pH de 9. Las sales inorgánicas de estos metales no son empleadas en fertirriego por su baja disponibilidad para las plantas una vez que reaccionan con la matriz del suelo.

El boro es igualmente eficiente en forma foliar como en fertirriego. Probablemente la forma foliar sea mucho más segura de evitar toxicidad.

### Compatibilidad de mezclas fertilizantes

La fertirrigación ofrece la oportunidad de poder combinar nutrientes siempre que estos sean compatibles. Compatibilidad en términos de fertirriego significa que no deben precipitar ni en el tanque de dosificación ni en la línea de riego. Para mayor seguridad conviene consultar alguna tabla de compatibilidad de fertilizantes (Cuadro 13.4). Ante dudas conviene hacer una prueba en un simple balde agregando los fertilizantes a una concentración equivalente al tanque de la solución madre o tomar el recaudo de administrarlos por separado.

	Urea	UAN	Sulfato de amonio	Nitrato de calcio	Nitrato de potasio	Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Fosfato de amonio	Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn	Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	Sulfato de magnesio	Ácido fosfórico	Ácido sulfúrico	Ácido nítrico
Urea														
UAN														
Sulfato de amonio				Incompatible										
Nitrato de calcio			Incompatible											
Nitrato de potasio														
Cloruro de potasio														
Sulfato de potasio			Se reduce la solubilidad	Incompatible			Se reduce la solubilidad							
Fosfato de amonio				Incompatible										
Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn				Incompatible				Se reduce la solubilidad	Incompatible					
Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn				Incompatible				Se reduce la solubilidad	Incompatible					
Sulfato de magnesio				Incompatible				Se reduce la solubilidad	Incompatible					
Ácido fosfórico				Incompatible						Se reduce la solubilidad				
Ácido sulfúrico				Incompatible				Se reduce la solubilidad						
Ácido nítrico													Incompatible	



**Cuadro 13.4.** Compatibilidad de las formulaciones más comunes empleadas en fertirriego.

## BIBLIOGRAFÍA

- CALLAN, N.W & WESCOTT M.P. 1996. Drip irrigation for application of potassium to tart cherry. *J. Plant. Nutr.* 19:163-172.
- CHENG, L. & RABA, R. 2009. Accumulation of Macro and Micronutrients and Nitrogen Demand-supply Relationship of 'Gala'/'Malling 26' Apple Trees Grown in Sand Culture. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 134(1):3-13.
- KAFKAFI, U. & TARCHITZKY J. 2012. Fertirrigación. Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua. Primera edición., IFA, Paris, Francia e IIP, Horgen, Suiza. 149.pág.
- KALLSEN, C.E.; B. HOLTZ; L. VILLARUZ & C. WYLIE. 2000. Leaf zinc and copper concentrations of mature pistachio trees in response to fertirrigation. *HortTechnology* 10(1):172-176.
- MELGAR, R. & CAMOZZI, M.E. 2002. Fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. Guía 2002.
- MUHAMMAD, S.; B. SANDEN; (...) & P. BROWN. 2015. Seasonal changes in nutrient content and concentrations in a mature deciduous tree species: Studies in almond (*Prunus dulcis* D. A. Webb). *Europ. J. Agronomy*, 65:52-68.
- NEILSEN, G.H. & HOGUE, E.J. 1992. Long-term effects of orchard soil management on tree vigor and extractable soil nutrients. *Canadian J. Soil Sci.* 72 (4) 617-621.
- NEILSEN, G.H. & D. NEILSEN. 1994. Tree fruit zinc nutrition. p. 85-93. *In*: Peterson, A.B. y R.G. Stevens (eds) *Tree Fruit Nutrition. Good Fruit Grower*, Yakima, Washington.
- NEILSEN, G.H.; P. PARCHOMCHUC & R. BERARD. 1995. NP fertirrigation and irrigation affect potassium nutrition of newly planted apple trees. *Acta Horticulturae* 383:57-65.
- NEILSEN, D.; P. PARCHOMCHUK; G.H. NEILSEN & E.J. HOGUE. 1998. Using soil solution monitoring to determine the effect of irrigation management and fertigation on nitrogen availability in high density apple orchards. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123 (4): 706-713.
- NEILSEN, D. & NEILSEN, G. H. 2002. Efficient use of nitrogen and water in high-density apple orchards. *HortTechnology* 12: 19-25.
- NEILSEN, G.H.; D. NEILSEN; L.C. HERBERT & E.J. HOGUE. 2004. Response of apple to fertigation of N and K under conditions susceptible to the development of K deficiency. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 129:26-31.
- SOUTHWICK, S.M.; M.E. RUPERT; J.T. YEAGER; D.D. LAMPINEN; T.M. DEJONG & K.G. WEIS. 1999. Effects of nitrogen fertigation on fruit yield and quality of young French prune trees, *J. Hort. Sci. Biotech.* 74:187-195.
- TAGLIAVINI, M.; FAILLA, O. & XILOYANNIS, C. 2012. La fertilizzazione nell'arboreto. *Arboricoltura Generale*; di Silviero, S., Costa, G., Gucci, R., Eds, 425-443.
- THALHEIMER, M. & PAOLI, N. 2017. Effects of N-fertilization and rootstocks on the performance of 'Red Delicious' Spur apple trees. *Acta Horticulturae* 1217: 371-378.
- URIU, K.; R.M. CARLSON; D.W. HENDERSON; H. SCHLBACH & T.M. ALDRICH. 1980. Potassium fertilization of prune trees under drip irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105:508-510.

*capítulo*

# 14

## NUTRICIÓN Y CALIDAD DE LA FRUTA

La nutrición mineral es un componente más del sistema de producción de una chacra o huerto, como lo son la conducción o el manejo del recurso agua. Hace años surge el concepto de “Sistema de Producción” integrado por piezas (cada una de las prácticas culturales) a manera de un rompecabezas cuya figura final da una idea de totalidad. En un rompecabezas, ninguna pieza es más importante que la otra, sino que se complementan para alcanzar el objetivo final.

Llevado este concepto al terreno de la producción de frutas, las piezas deben encajar en un sentido lógico y el técnico asesor debe ser el encargado de hacer uso de cada una de ellas en el momento oportuno.

Lamentablemente, la complejidad de la fruticultura moderna no hace más que incorporar nuevas piezas al rompecabezas de la producción, por lo que el técnico asesor más que nunca debe integrar criteriosamente un amplio rango de conocimientos. Amplitud de conocimientos y criterio conforman los pilares fundamentales en los que nos debemos apoyar para actuar en cualquiera de las prácticas de manejo conocidas, entre las cuales se encuentra la fertilización. La nutrición mineral de los frutales, vista desde este enfoque, es muy sencilla pues solo se debe aplicar lo que se sabe en el momento oportuno con los recursos disponibles.

## EL CONCEPTO DE CALIDAD

Calidad en fruticultura es, en definitiva, la aceptación sin reparos del producto por parte del consumidor. La calidad es un concepto dinámico que se basa en las necesidades y percepciones del consumidor y refleja las evoluciones socioculturales (Musacchi & Serra, 2018). Calidad para un mercado puede ser el tamaño y color del fruto, para otro la textura y el sabor, para la mayoría la cosmética o apariencia y la inocuidad donde los estándares dependen de cada mercado en particular.

La calidad final se establece al momento que el producto llega a la góndola del supermercado e intervienen factores de manejo de chacra y poscosecha en su conjunto. Respecto de los factores de la chacra nos referiremos a los estrictamente nutricionales haciendo referencia a aquellos que son más determinantes en frutales y en consecuencia han sido los más estudiados como el calcio y el nitrógeno.

## FUNCIÓN DEL CALCIO

El calcio, es el elemento más crítico como determinante de calidad. Son numerosas las asociaciones entre este elemento y los desórdenes fisiológicos en la fruta de pepita tales como bitter pit, mancha corchosa o *cork spot*, decaimiento interno y corazón acuoso, entre otros. Además, el calcio tiene un rol preponderante en mantener la firmeza del fruto, reducir la tasa respiratoria, reducir la producción de etileno y optimizar la conservación tanto de la fruta de pepita como de carozo.

Es evidente a través de toda la literatura, que el calcio juega un rol preponderante en el control de la pérdida de firmeza de los frutos. Sin embargo, los mecanismos moleculares de la acción del calcio en el proceso de ablandamiento (o senescencia del fruto) no están claramente dilucidados (Huang *et al.*, 2020). Existe evidencia de que la



acción del calcio es debida en parte a su efecto en la estructura de la pared celular y en la integridad de la membrana celular (Legge *et al.*, 1982). En los años 80 se investigó la acción del calcio en regular varias funciones celulares a través de la calmodulina, que es una proteína de bajo peso molecular asociada al calcio que activa varias enzimas, pero la asociación entre la calmodulina y la senescencia de los frutos no ha sido completamente establecida.

La rigidez de las paredes celulares del fruto es un factor determinante de la firmeza. El calcio actúa retrasando el ablandamiento, al resistir la acción de enzimas degradativas de los polímeros pécticos (Sams & Conway, 1984). Debido a su carácter de catión bivalente, también participa en adherir dos células contiguas mejorando la textura del fruto.

En la naturaleza el contenido de calcio en el fruto es muy bajo. Esto puede explicarse porque la misión de un fruto es originar una descendencia para conservar la especie lo que implica que, una vez caído al suelo, deba degradarse rápidamente para liberar las semillas. Sin embargo, el fruticultor pretende lo contrario; un fruto firme durante varios meses posteriores a la cosecha y que resista el ataque de hongos que lo degraden. Hasta la fecha, la puja naturaleza-hombre favorece ampliamente a la primera.

La mayor parte del calcio activo en la célula se encuentra asociado a la pared celular (más del 60 %), en cambio en el citoplasma y cloroplasto su concentración es muy baja para evitar la precipitación del fósforo inorgánico. Si por algún motivo la concentración de calcio aumenta, se precipita en la forma de oxalato de calcio.

## NUTRICIÓN CÁLCICA

### Absorción y transporte de calcio

La absorción de calcio ocurre con preferencia en la zona apical de las raíces nuevas. Por lo tanto, es importante favorecer el crecimiento de raíces con anterioridad a la brotación e inmediatamente posterior a ella, con el fin de poder abastecer de calcio a los nuevos brotes y frutos. El crecimiento de la raíz depende de sus reservas de carbohidratos acumuladas a partir de la parte aérea. Una vez que la planta brota el destino de carbohidratos hacia la raíz disminuye considerablemente, porque la parte aérea tiene prioridad sobre la parte subterránea.

Si la raíz no cuenta con suficientes carbohidratos, limita mucho su crecimiento y administra su energía disponible dando prioridad a la absorción de nutrientes más que al incremento de su biomasa. Se enfatiza una vez más en la importancia del período posterior a la cosecha para restablecer reservas minerales y de carbohidratos, tanto en la parte aérea como subterránea del árbol.

El crecimiento de raíces nuevas en la primavera, con anticipación al desarrollo foliar, es crítico para mantener una correcta funcionalidad de la planta en su conjunto, al garantizar la normal absorción de agua y nutrientes, así como la síntesis de hormonas. Es por ello que, en este período, es esencial evitar dañar estas raíces nuevas con las branzas superficiales. El crecimiento radical que ocurre muy temprano en la primavera necesita, entre otros factores, la aireación del suelo, la eliminación de competencia por otro tipo de vegetación, la actividad biológica, el contenido de materia orgánica y la

temperatura. Todos ellos contribuyen a la renovación de raíces y en consecuencia condicionan la absorción del calcio.

Una vez en el espacio interior de la raíz, el calcio se moviliza hacia la parte aérea por los vasos del xilema, en respuesta a un gradiente de potencial agua. La transpiración de las hojas hace que el calcio se mueva pasivamente hacia ellas; en cambio los frutos, los cuales presentan una tasa transpiratoria entre 15 y 20 veces menor, resultan en competidores débiles para este nutriente.

El floema es el segundo sistema de transporte de larga distancia en las plantas. A diferencia de xilema, conformado por una red de células muertas, el floema está integrado por células vivas, por lo que la planta puede regular muy bien la composición del flujo de transporte floemático al controlar el movimiento de solutos desde y hacia las células de transporte (Hanson, 1995).

El pH del floema es alcalino, razón por la cual el calcio presenta una limitada solubilidad que se traduce en una baja concentración iónica. Es sabido que el transporte de agua y solutos al fruto ocurre en una primera etapa por el xilema, pero luego va cambiando hasta depender con exclusividad del floema. En consecuencia, el aporte de calcio a los frutos es muy bajo y se predispone a los mismos a presentar desórdenes fisiológicos asociados a un bajo contenido de este elemento.

Como ocurre con todo elemento inmóvil, el calcio se va incorporando lentamente a las hojas a medida que estas se desarrollan y alcanzan una máxima concentración hacia el final de la estación. Contrariamente, en los frutos la concentración es máxima en sus inicios cuando el xilema es la principal vía de aporte de agua y solutos, pero disminuye a medida que el fruto crece y el floema pasa a ser el tejido de conducción predominante.

Varios autores afirman que la ganancia de calcio en los frutos alcanza prácticamente un 90 % del total en sus primeras seis semanas de vida, en coincidencia con el período de división celular. Por el contrario, otros autores coinciden que la ganancia de calcio en el período de elongación celular no se interrumpe (Tromp, 1979). En Golden Delicious, Sánchez (inédito) encontró que, si bien la concentración de calcio disminuye con el correr de la estación de crecimiento, la acumulación de calcio es constante.

Hanson (1995) sintetiza en los siguientes puntos la nutrición cálcica del fruto:

1. El fruto acumula la mayor parte del calcio durante las primeras seis semanas después de floración, cuando es importante el transporte de agua y solutos por el xilema.
2. No son muy habituales las aplicaciones foliares de calcio en esa época, debido a que los frutos están totalmente cubiertos con ceras que dificultan la difusión del calcio hacia su interior.
3. A partir de las seis semanas, comienza a ganar importancia el transporte por el floema. La concentración de calcio en el floema es mínima por lo que la ganancia de calcio en los frutos es mucho menor que el incremento de materia seca. En consecuencia, la concentración de calcio del fruto disminuye notablemente.

4. En ésta época son cada vez más efectivas las aplicaciones foliares debido a que la presencia de ceras en la epidermis no es continua y el calcio penetra por difusión a través de canales. La penetración alcanza a las primeras capas de células (1 o 2 milímetros por debajo de la epidermis).
5. En condiciones de estrés hídrico el fruto puede perder calcio (Lang, 1990; Cline *et al.*, 1991) por lo que se recomienda mantener el suelo con suficiente humedad durante el período de mayor demanda evaporativa.
6. Existe una relación entre las auxinas y el transporte de calcio. Frutos con mayor cantidad de semillas acumulan más calcio que frutos partenocárpicos o sin semillas.

## PRÁCTICAS CULTURALES QUE INCIDEN EN LA NUTRICIÓN CÁLCICA

De todas las prácticas culturales, la poda, el raleo, el riego y la fertilización son las más importantes en determinar el enriquecimiento de calcio de los frutos. Tanto la poda como el raleo actúan sobre la relación hoja-fruto e influyen en la partición de calcio entre estos órganos.

La poda es la práctica que más actúa sobre el crecimiento vegetativo y por lo tanto también determina la acumulación de calcio en la planta. La época, tipo e intensidad de poda tienen efectos variados. La invernal, si bien restringe el tamaño de los árboles, estimula el crecimiento vegetativo en la zona del corte y origina un desbalance de calcio en los frutos cercanos a éste. Por el contrario, la de verano estimula la fructificación y controla mejor el crecimiento vegetativo porque reduce la competencia entre brotes y frutos. Variedades susceptibles a desórdenes fisiológicos relacionados con el calcio no deberían podarse en el invierno con el fin de minimizar el efecto negativo del vigor localizado que crea desequilibrios nutricionales.

En cuanto al raleo, es sabido el efecto que ejerce sobre el tamaño del fruto y por lo tanto en la dilución del calcio. Algunos autores mencionan que es más importante el número de células por fruto que el tamaño, ya que por ejemplo frutos grandes con mayor número de células que otros, son menos susceptibles a *bitter pit*. En definitiva, la concentración de calcio por fruto o por célula es determinante de la susceptibilidad a fisiopatías.

El riego, como práctica cultural obligada en la mayoría de las regiones donde se cultivan frutales, influye tanto en la disponibilidad de calcio en el suelo como en su absorción por las raíces. El calcio soluble del suelo, llega a las raíces por flujo masal. Por esta razón, es importante que el suelo posea un nivel de humedad que no sea inferior al 70 % del agua disponible durante el período de pre y posfloración, hasta que se complete la división celular del fruto.

Sin embargo, como ya se indicó anteriormente, el exceso de agua es muy perjudicial, porque causa estrés en las plantas por asfixia radical y en esas condiciones la raíz no crece ni absorbe nutrientes. Si existe elevación de la napa freática el escenario es más crítico, porque el aporte de sales de sodio agrava aún más el problema. Durante los meses de mayor demanda evaporativa es necesario controlar el nivel de humedad en

la zona ocupada por las raíces para evitar cualquier déficit hídrico en la planta que provoque la pérdida de agua (y calcio) del fruto.

En manzanos y perales, es importante mantener niveles óptimos de micronutrientes para lograr una rápida expansión de las hojas de los dardos, responsables de la nutrición del fruto durante el primer mes luego del cuaje. El cinc es fundamental en este estado por su participación en la fotosíntesis y la formación de ácido indolacético.

Una forma sencilla de inducir deficiencia de calcio en los frutos es realizar una fertilización excesiva con nitrógeno, especialmente en primavera. El problema se agrava aún más si se aplican fertilizantes amoniacales, ya que la presencia de amonio en la zona radical disminuye la absorción de calcio. La rápida absorción de nitrógeno y su transporte hacia puntos de crecimiento vegetativo causan desequilibrios nutricionales en las plantas, dentro de los cuales la nutrición cálcica del fruto ocupa un sitio de interés. Como mencionan Sánchez *et al.* (1992), luego que las hojas de los dardos alcanzan su máxima expansión, el nitrógeno se dirige a los brotes y frutos. El calcio debe forzosamente acompañar la formación de los brotes y, en consecuencia, es menor la posibilidad de que se dirija a los frutos.

Los desequilibrios nutricionales se agravan cuando se aplican potasio y magnesio sin necesidad. Como ya se expresó, ambos cationes compiten a nivel de raíz con el calcio disminuyendo su tasa de absorción. En el fruto el magnesio, que tiene igual carga eléctrica que el calcio, compite por sitios de acción desplazándolo. Las aplicaciones foliares de magnesio, sin duda, agravan desordenes como el *bitter pit*, cuando se aplican en árboles que no acusan deficiencia de este nutriente. Vale resaltar que precisamente, una forma de predecir el *bitter pit* es mediante infiltraciones al vacío con magnesio antes de la cosecha.

Varios investigadores han notado que al expresar el contenido de calcio en la fruta como la relación  $(K + Mg)/Ca$ , se entrega una mayor información que si se considera únicamente el nivel de éste. Valores de 20 a 25 en esta relación se consideran adecuados para manzanas y peras. Desde el punto de vista de la predicción de desórdenes fisiológicos, como el *bitter pit*, esta aproximación funciona especialmente bien cuando los contenidos de potasio y magnesio son altos (Bramlage, 1995). Otra relación importante es la del nitrógeno con el calcio, en especial en la manifestación de cork spot o corcho en pera 'Beurré D' Anjou' (Raese & Drake, 1993).

## PULVERIZACIONES FOLIARES DE CALCIO

Esta práctica, es la más empleada para incrementar el tenor de calcio del fruto. Muchos creen, equivocadamente, que ésta es la única forma válida para mejorar la nutrición cálcica del fruto. Pero, como se mencionó anteriormente, muchos factores de manejo inciden en la absorción y distribución de calcio en el árbol. Por ello, se recomienda no hacer énfasis únicamente en las pulverizaciones y evitar prácticas culturales reñidas con el metabolismo del calcio en la planta, como riegos primaverales excesivos, fertilización y podas que inducen vigor.

Desde un punto de vista integrador, las pulverizaciones con calcio son un complemento importante. Raese & Drake (1993) estudiaron durante cinco años el efecto de 3 o 4 aplicaciones foliares cada tres semanas con cloruro de calcio a 360-475 g/hL comenzando a inicios del verano. Los autores encontraron un incremento significativo en la firmeza de manzanas 'Delicious' y una marcada disminución en el número de frutos afectados por bitter pit (-70-95 %). Similares resultados encontraron Malakouti *et al.* (1999) con aplicaciones de cloruro de calcio al 1 % en esta misma variedad cultivada en suelos calcáreos ricos en calcio.

Los productos más empleados son el cloruro y el nitrato de calcio (sal industrial o formulaciones líquidas), aunque existen otros a base de quelatos, el fosfato de calcio, etc. Es posible optar por el nitrato de calcio sólo si la concentración foliar de nitrógeno no supera el 2,5 % ya que, en caso contrario, el aporte adicional de nitrógeno de esta sal puede resultar perjudicial. En general, la mejor respuesta está dada por aquel producto que más calcio aporte, a excepción de algunos quelatos que son de baja concentración pero muy eficientes. En base a la concentración de calcio de los distintos productos comerciales y su concentración recomendada, es posible establecer el aporte de calcio aplicado, el cual se sitúa en promedio en 35 g/hL. Por simplicidad y costo se prefiere el cloruro de calcio a 250 g/hL, siempre y cuando el pH de la solución final no sea mayor que 8. Algunas formulaciones líquidas de calcio son muy buenas debido a su control del pH y que pueden combinarse con plaguicidas.

Silva & Larrain (1997), demostraron la escasa diferencia entre distintos productos comerciales a base de calcio cuando son aplicados incorporando la misma cantidad de nutriente (Cuadro 14.1). También el trabajo refleja con claridad el eficiente control de bitter pit, a pesar de no verificarse incremento de calcio en los frutos entre el testigo y el resto de los tratamientos. De cualquier manera, nunca se llega a un 100 % de control, lo que demuestra la importancia de considerar también otros aspectos de manejo y no depender únicamente de las aplicaciones.

La causa de que la ganancia de calcio en los frutos sea mínima radica en la composición de la cutícula, que constituye una barrera protectora frente a agentes externos que impide la libre penetración de calcio. Las ceras que constituyen la cutícula son responsables de la resistencia a la difusión del calcio u otros compuestos incluyendo al agua.

**Cuadro 14.1.** Contenido de calcio (ppm en base seca) en frutos de manzano cv. Braeburn y porcentaje de frutos afectados por bitter pit, luego de permanecer cuatro meses a 0° C. Las plantas tratadas recibieron seis aplicaciones a lo largo de la temporada (Silva & Larraín, 1997).

Tratamiento	Kg Ca. ha.aplic. <sup>-1</sup>	Ca epidermal	Ca Sub epidermal	Bitter pit (%)
Testigo		655 a	194 a	24,3 a
Basfoliar Ca líquido	1,5	710 a	195 a	9,6 c
Stopit	1,5	802 a	210 a	12,6 bc
Cloruro de Ca	1,5	777 a	193 a	16,2 b
Wuxal Ca	1,5	640 a	180 a	10,1 bc
Basfoliar Ca B en polvo	1,5	780 a	215 a	12,6 bc

Para lograr el ingreso de calcio al fruto es necesario atravesar la capa cerosa, ya sea a través de imperfecciones o por difusión. El proceso no es sencillo, porque en el seno de la matriz cuticular, las cargas negativas de los ácidos alifáticos y ésteres retienen a los cationes, como por ejemplo el calcio, hasta el punto de saturar los espacios de intercambio.

El punto isoeléctrico de la cutícula del fruto del manzano es aproximadamente 3,0. Esto significa que a pH 3, las cargas negativas y positivas se igualan. Al incrementar el pH de la cutícula, se incrementan las cargas negativas y en consecuencia crecen los puntos de intercambio de calcio. La fracción intercambiable de la cutícula se incrementa cuatro veces, cuando se pasa de pH 3 a 8 (Chamel, 1989). Por lo tanto, con una solución por encima de la neutralidad, se consigue una buena penetración. Si se utilizan mezclas de productos, se debe chequear no sólo la compatibilidad química sino también el pH óptimo para lograr la mayor eficiencia.

El período de tiempo durante el cual se realizan las aplicaciones foliares incide en el enriquecimiento de calcio de los frutos al momento de la cosecha. En un estudio desarrollado en distintos cultivares de manzano por Neilsen & Neilsen (2002) se encontró que cinco aplicaciones semanales de cloruro de calcio al 0,5 % aplicadas a inicios del verano fueron menos efectivas que las aplicaciones a fines del verano, en cuanto a incrementar el contenido de calcio de los frutos. Sin embargo, estas aplicaciones tempranas fueron más efectivas en la reducción de *bitter pit* en manzanas 'Braeburn' (Cuadro 14.2).

**Cuadro 14.2.** Concentración de calcio en frutos de manzanas 'Braeburn' a cosecha e incidencia de *bitter pit* luego de tres meses de almacenamiento a 0° C y 7 días a temperatura ambiental, según el momento de aplicación de calcio foliar (Neilsen & Neilsen, 2002).

Tratamiento	Calcio en fruto (mg/100g PF)	Incidencia de <i>bitter pit</i>
Testigo	3,8 b	25 % a
CaCl <sub>2</sub> temprano	4,4 b	0 % c
CaCl <sub>2</sub> tardío	5,9 a	12 % b
Significancia	*	***

Letras distintas en cada columna difieren según el test de Duncan.

Los efectos de las aplicaciones foliares para mitigar el *bitter pit* en manzanos o *cork spot* en pera, abundan en la extensa literatura mundial. En cambio, en frutales de carozo, los intentos de mejorar la calidad de la fruta a través de aplicaciones de calcio no han demostrado ser efectivas. Así por ejemplo en California, aplicaciones de calcio foliar cada 14 días en durazneros y nectarinas a lo largo de la estación no afectaron los valores de sólidos solubles, firmeza, susceptibilidad al decaimiento o el contenido mismo de calcio de los frutos (Crisosto *et al.*, 1997). Estudios posteriores en durazneros 'Andross' sí encontraron mayores contenidos de calcio en el fruto luego de 6-10 aplicaciones de cloruro de calcio, pero escasas diferencias en la calidad del fruto (firmeza, sólidos solubles y acidez) (Manganaris *et al.*, 2005).

En contraposición, aplicaciones de cloruro de calcio al 0,5-0,8 % efectuadas en dos o tres oportunidades dentro de los 21 días anteriores a la cosecha en damasco, fueron efectivas en reducir la producción de etileno e incrementar la firmeza del fruto aún luego de cuatro semanas de conservación en frío a 0 °C. Esta mejora se correspondía con un incremento de calcio en la pulpa del orden del 30 al 70 % (Tzoutzoukou & Bouranis, 1997).

En vid, se estudió el efecto de aplicaciones foliares de calcio sobre el rendimiento y la calidad de los racimos y bayas en uva de mesa (Amiri *et al.*, 2009). Se realizaron tres aplicaciones entre cuaje y envero con distintas concentraciones de cloruro de calcio (0-2 %). Los autores concluyeron que la concentración óptima es de 1,2 %, con la cual se redujo la caída precosecha y se incrementó la firmeza y color de las bayas.

En cerezo, no hay muchos antecedentes en cuanto a la acción del calcio en mejorar la firmeza de los frutos. En cambio, es conocido el efecto del cloruro de calcio en reducir el rajado de los mismos luego de una lluvia. Durante la maduración, la sensibilidad al rajado es cada vez mayor, debido a que los azúcares crean un potencial osmótico muy elevado. Durante una lluvia, el agua se dirige al interior del fruto en respuesta a un gradiente de potencial agua y causa su rajado al aumentar rápidamente su volumen. Ensayos regionales durante tres temporadas en Michigan, Oregon, Washington y California, en Estados Unidos y en British Columbia, Canadá, dan cuenta de las ventajas de realizar incorporaciones foliares durante la lluvia (Lang *et al.*, 1997).

El tratamiento consiste en inyectar al sistema de riego aéreo una solución de cloruro de calcio al 0,5 % con el fin de cubrir permanentemente al fruto con una sal osmótica que contrarreste el efecto del agua de lluvia. En el Cuadro 14.3, se sintetizan algunos de estos ensayos. Es evidente que, a pesar de no controlar la rajadura de los frutos en un 100 %, los resultados son muy buenos desde el punto de vista económico.

También en kiwi se ha reportado que aplicaciones sucesivas de cloruro de calcio a 0,75-1,5 % incrementan la concentración de este nutriente en los frutos, mejoran la calidad de los mismos, especialmente la firmeza y prolongan considerablemente su capacidad de conservación a 0 °C, así como la vida en estante a 20 °C (Gerasopoulos *et al.*, 1996; Shiri *et al.*, 2016).

**Cuadro 14.3.** Efecto de aplicaciones foliares de cloruro de calcio durante una lluvia en la incidencia de rajaduras de fruto (Lang *et al.*, 1997).

Lugar	Cultivar	Control	CaCl <sub>2</sub> 0,5%
Corvallis, Oregon	Royal Ann	16 %	2%
Pasco, Washington	Bing	29%	19%
Summerland, B.C.	Bing	17%	4%
	Lambert	15%	5%
	Stella	27%	13%
Michigan	Rainier	28%	9%
Lodi 1, California		39%	24%

## INMERSIONES DE CALCIO EN POSCOSECHA

Una manera de homogeneizar los niveles de calcio en toda la fruta que llega al establecimiento de empaque para su almacenaje, sería a través de un tratamiento de inmersión. Según Bramlage (1995) bastan sólo 20 segundos de tratamiento para aumentar los niveles de calcio en fruto equivalente a ocho aspersiones. Esta práctica, en apariencia eficaz y sencilla, tiene sus aspectos negativos. La fruta con cáliz abierto es propensa a sufrir toxicidad por la elevada concentración de las sales de calcio (1,5 a 3 %).

La mayoría de la bibliografía pone énfasis en la duración del tiempo de tratamiento, que debe ser superior a 20 segundos. Algunas firmas comerciales de productos expresan que se necesitan al menos 10 minutos de tratamiento para lograr una efectiva acción del calcio. Luego de este período se puede pasar la fruta por la línea de empaque y aplicar otros productos, como fungicidas, sin riesgo de lavado del calcio.

El hecho de lavar o no el fruto luego de la aplicación, tiene efectos notorios. Se puede asumir que, a menor tiempo de inmersión, mayor es el riesgo de perder lo poco que se absorbió frente a un lavado. Por el contrario, a mayor tiempo de tratamiento, es probable que se pueda lavar los frutos sin mayores pérdidas del calcio absorbido. Por lo tanto, se debería dejar la fruta en inmersión el mayor tiempo posible sin que ello resulte en daño alguno, aunque sea una mínima lenticelosis. Sin embargo, no están claramente definidos aún los tiempos y las concentraciones recomendadas para cada variedad.

Sin llegar a ser una inmersión propiamente dicha, el lavado de la fruta en el drencher con agregado de calcio puede ser de interés si la fruta tratada es preclasificada y guardada en frío durante algún tiempo antes de pasar por la línea de empaque. El tratamiento con cloruro de calcio en drencher por 60 segundos, redujo notablemente la incidencia de bitter pit en manzanas 'Granny Smith' de 20 % a tan sólo 5 % (Benitez & Castro, 2005).

Hay algunos factores que son muy importantes a tener en cuenta para que el tratamiento con la solución de calcio sea efectiva. Uno de los más importantes, es la temperatura del fruto y de la solución. Si el fruto viene del campo con alta temperatura y se encuentra con una solución mucho más fría, el aire en el interior del fruto se contrae y crea un pequeño vacío que favorece la absorción de la solución. Si el diferencial de temperatura es inverso, se crea una presión que bloquea la entrada (Bramlage & Weis, 1994).

Se debe considerar que, juntamente con la solución de calcio, pueden ingresar esporas de hongos, fungicidas o el antiescaldante. Todos estos factores pueden perjudicar la calidad de la fruta al causar podredumbres o aportar residuos no deseados.

## FUNCIÓN DEL NITRÓGENO

En nitrógeno juega un rol fundamental desde el punto de vista de la calidad del fruto ya que resulta un nutriente clave en determinar el vigor del árbol, causando desequilibrios entre el crecimiento de los brotes y los frutos.

En los frutales la nutrición nitrogenada es crítica. Por un lado, se debe mantener niveles óptimos de nitrógeno en el suelo para fomentar el crecimiento vegetativo, promover la diferenciación floral y hacer crecer a los frutos. Un monte frutal con rendimiento comercial aceptable año tras año necesita del agregado de nitrógeno en poca, mediana



o alta dosis. Sin embargo, se debe tener especial cuidado en no sobrefertilizar, ya que se desencadenan procesos fisiológicos que atentan contra la rentabilidad del monte por su acción directa o indirecta sobre la calidad de la fruta. El color, índices de madurez, conservación en frío, susceptibilidad a fisiopatías y pudriciones, son algunos de los efectos directos. La inducción de deficiencias de otros nutrientes en hojas y frutos, pueden considerarse efectos indirectos (por ejemplo: incremento del tamaño del fruto y dilución del calcio).

La cantidad, la forma química y la época de aplicación son determinantes en el buen manejo de la fertilización nitrogenada. En frutales de pepita y carozo el nitrógeno se dirige hacia los puntos activos de crecimiento cuando es aplicado en la primavera. Los frutos también son un destino importante de nitrógeno, por lo que se debe balancear muy bien el vigor deseado con el desarrollo de los frutos. Los frutales de carozo responden rápidamente al agregado de nitrógeno aumentando sustancialmente el área foliar. Por lo tanto, las consecuencias de una sobrefertilización son más críticas que en peral o manzano, porque se debe actuar de inmediato mediante una o más podas en verde.

## NUTRICIÓN NITROGENADA Y CALIDAD DE LA FRUTA

A diferencia de la fruta de pepita, donde el calcio parece dominar la escena de la calidad, en durazneros y nectarinas es el nitrógeno quien más influencia ejerce sobre la calidad de la fruta.

Un alto nivel de nitrógeno, al estimular el crecimiento vegetativo, provoca sombreado en las partes media y baja de la canopia, causando muerte de madera fructífera. A pesar de que las plantas con alta nutrición nitrogenada lucen muy saludables y vigorosas, el exceso de nitrógeno no incrementa el tamaño de los frutos, ni el rendimiento, ni la concentración de sólidos solubles (Crisosto *et al.*, 1997). Sin embargo, se ha visto que el nitrógeno prolonga el período de llenado de los frutos en durazno 'O'Henry' (Sáenz *et al.*, 1997). Esto puede explicarse debido a que las plantas fertilizadas con nitrógeno retrasan la madurez y permiten que el llenado del fruto se extienda por unos días más, en comparación con plantas deficientes en este elemento. En situaciones normales, en un cultivo comercial en donde es necesario mantener un nivel óptimo de nitrógeno y en el cual el raleo de frutos es una práctica normal, no es de esperar que el nitrógeno influya directamente sobre el tamaño de éstos. El atraso de la madurez a causa de niveles altos de nitrógeno, está muy bien documentado en nectarinas y durazneros (Daane *et al.*, 1995; Crisosto *et al.*, 1997, Saenz *et al.*, 1997). Uno de los síntomas evidentes en el atraso de la madurez es el pobre desarrollo de color y la inhibición del cambio de color de fondo de verde a amarillo. En el Tabla 14.4 se puede observar el efecto de la aplicación de nitrógeno en nectarinas sobre el rendimiento y algunos parámetros de calidad del fruto. Es evidente que, si la planta carece de suficiente nitrógeno, el rendimiento y el peso de los frutos es muy bajo a pesar de que el color es excelente.

El retraso de la madurez cuando la fertilización nitrogenada es elevada puede alcanzar los cuatro a cinco días. De acuerdo al trabajo realizado por Daane *et al.* (1995), se concluye que una concentración de nitrógeno en hoja de alrededor de 3 % resulta suficiente para esta variedad (Cuadro 14.4).

**Cuadro 14.4.** Efecto de la fertilización nitrogenada en la concentración de nitrógeno foliar, color del fruto, rendimiento y peso de la fruta de pelón cv. Fantasía (Daane *et al.*, 1995).

N (kg/ha)	N en hoja (%)	Rinde (kg/pl)	Peso fruto (g)	Color rojo (%)	Densidad de la cutícula (mg/mm <sup>2</sup> )
0	2,7 a	132 a	131a	92 a	13,5 a
112	3,0 a	207 b	166 b	80 b	-
196	3,1 c	193 b	168 b	72 c	10,7 b
280	3,5 d	222 b	169 b	69 c	-
364	3,5 d	197 b	167 b	70 c	9,5 c

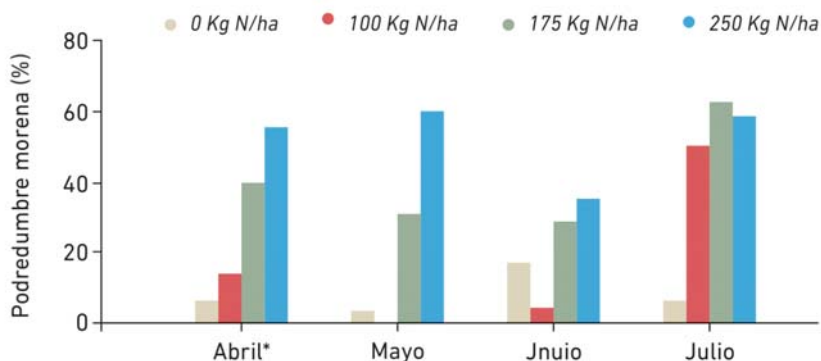
Separación de medias en cada columna según el test de LSD al 5%.

En cuanto al efecto de los parámetros de madurez, desórdenes fisiológicos o la susceptibilidad al machucado, no existieron mayores diferencias entre los tratamientos. Sin embargo, la pérdida de agua de los frutos a 20 °C y 30 % de humedad se incrementó proporcionalmente a la cantidad de nitrógeno aplicado. Un estudio más detallado indicó que el grosor de la cutícula era menor a mayor contenido de nitrógeno del fruto (Tabla 14.4).

Los estudios multidisciplinarios permiten obtener conclusiones amplias al examinar un nutrido espectro de incidencias, en este caso consecuencias de la fertilización nitrogenada. Un aspecto adicional de gran interés es el análisis de la susceptibilidad de la fruta a la podredumbre morena causada por el patógeno *Monilinia fruticola* y el ataque de insectos.

La podredumbre morena es típica de la fruta de carozo y el nitrógeno predispone mucho al ataque de *Monilinia* según confirman los resultados obtenidos por Daane *et al.* (1995) (Figura 14.1). En este estudio se realizaron inoculaciones con esporas del hongo en diversos estados de desarrollo de los frutos. En general, se observa que el porcentaje de daño a cosecha es siempre mayor entre los tratamientos con nitrógeno, con escasa diferencia en cuanto a las dosis del fertilizante. Las fechas de inoculación arrojan resultados variados, probablemente por las condiciones climáticas reinantes durante y después de la inoculación. También se observó que el número de frutos momificados que permanecieron en el árbol fue mayor a medida que se incrementaba la dosis de nitrógeno.

En lo que se refiere a la susceptibilidad al ataque de insectos, se estudió el efecto del nitrógeno en dos de las plagas clave de duraznos y nectarinas de California, la grafolita (*Grapholita molesta*) y el "peach twig borer" (*Anarsia lineatella*). La primera se controla con hormonas de confusión y la segunda se controla con *Bacillus thuringiensis*. Se observó que, para cultivares de cosecha media y tardía, se requiere una nueva aplicación de feromonas y de *Bacillus thuringiensis*. Por lo tanto, el costo elevado de control obliga a disminuir la densidad de población de estos insectos.



**Figura 14.1.** Efecto de la fertilización nitrogenada en el desarrollo de infecciones latentes sobre frutos verdes del cv. Fantasia y porcentaje de incidencia de “podredumbre morena” sobre el fruto maduro (Daane *et al.*, 1995).

En duraznero ‘Elberta’, la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno y magnesio resultó en una disminución en la calidad de fruta, reducción de la vida en estante, firmeza y color (Reeves y Cummings, 1970). En tanto que, en damasco se comprobó que el nitrógeno favorece el desarrollo de una fisiopatía conocida como “*pitburn*”, que consiste en el amarronamiento de la zona alrededor del carozo, debido a la oxidación de compuestos fenólicos (Bussi y Amiot, 1998). En frutales de pepita, la evidencia de los efectos negativos del exceso de nitrógeno sobre la calidad de los frutos es más que suficiente como para tener en cuenta y fertilizar estrictamente con lo necesario.

Un parámetro importante de calidad en manzanas rojas es evidentemente el color. En cultivares tradicionales como ‘Red delicious’ estándar, caracterizada por ser genéticamente de poca coloración, el vigor debe manejarse con sumo cuidado para permitir que el desarrollo del pigmento antocianico en el fruto no se inhiba y evitar el sombreado de los frutos. También en cultivares de crecimiento dardífero, como ‘Red spur delicious’ se encontró una relación negativa entre la fertilización nitrogenada y la firmeza y coloración de los frutos (Nielsen *et al.*, 2010; Cuadro 14.5) En cultivares como ‘Fuji’, la coloración es crítica y todo exceso de nitrógeno resulta en menos porcentaje de fruta de primera calidad, no solo por el color, sino también por la menor firmeza y menor contenido de sólidos solubles y fructosa (Raese *et al.*, 1997).

**Cuadro 14.5.** Efecto de la fertilización nitrogenada en la concentración de nitrógeno y potasio en los frutos, rendimiento, peso, firmeza y color de manzanas ‘Red spur delicious’ (Nielsen *et al.*, 2010).

N (g/árbol)	Rinde (kg/pl)	Peso fruto (g)	N en fruto (%)	K en fruto (%)	Firmeza (N)	Color rojo (1-5)
45	37 a	197 c	0,11 a	0,80 c	78 b	3,9 b
180	47 b	192 bc	0,12 a	0,79 bc	76 a	3,8 b
318	45 ab	186 ab	0,14 b	0,75 a	75 a	3,6 a
454	49 b	181 a	0,14 b	0,76 ab	75 a	3,5 a
590	41 a	181 a	0,16 c	0,75 a	76 a	3,5 a

Separación de medias en cada columna según Duncan al 5%.

En 'Pink Lady', la coloración característica que la define, es muy difícil de lograr con portainjertos vigorosos y, en tal situación, el manejo del nitrógeno es muy determinante. Por un lado, se debe optimizar el color y, por el otro, se debe garantizar suficientes reservas para alimentar a las yemas y hacer frente a la brotación en la primavera siguiente. Similar situación se da en 'Golden delicious' donde el color amarillo de los frutos es un atributo muy importante de calidad. Para lograr esta coloración en los frutos, el porcentaje de nitrógeno en hojas no debe superar 1,8-1,9 %. Lamentablemente es difícil lograr estos niveles anualmente, ya que un mínimo déficit se traduce en menor cuaje y rendimiento. El análisis foliar en los casos anteriormente mencionados debería realizarse anualmente para nitrógeno.

En 'Granny Smith', por el contrario, el color verde se intensifica con la fertilización nitrogenada. Sin embargo, no se recomienda un exceso de fertilización a efecto de no influir en la firmeza del fruto, su conservación y la posibilidad de acelerar el desarrollo de *bitter pit*. Como regla práctica, se aconseja intensificar en un 50 % las aplicaciones de calcio cuando la concentración de nitrógeno en las hojas supera el valor de 2,5 %.

Por lo expuesto, en aquellas variedades donde la coloración del fruto es importante, es imprescindible centrar las aplicaciones de nitrógeno en el otoño y evitar todo aporte de nitrógeno en la primavera. Con este manejo, se logrará incrementar reservas, nutrir a las yemas florales y reducir el nitrógeno derivado hacia los frutos y brotes (Sánchez *et al.*, 1995).

El *russetting* en 'Golden delicious' es favorecido por altos niveles de nitrógeno y el efecto es mayor cuanto más joven sea la planta. De existir antecedentes de manifestación de esta fisiopatía y observar un vigor elevado de las plantas, se deberían suspender por completo las aplicaciones de nitrógeno como medida precautoria. El *russetting* es provocado también por factores climáticos y de manejo, como las aplicaciones foliares tempranas con mezclas variadas de productos.

En peral, la influencia del nitrógeno ha sido ampliamente estudiada, especialmente en 'Beurré D'Anjou' (Raese & Staiff, 1983; Raese, 1996). En general dosis medias a elevadas de nitrógeno, a pesar de mejorar el tamaño del fruto, afectan negativamente la calidad al favorecer el *russetting*, la escaldadura, el *cork spot* y el ataque de hongos en poscosecha. Asimismo, se ha informado que los frutos provenientes de plantas de alto vigor son más susceptibles al ataque de *Penicillium expansum* en el almacenaje (Sugar *et al.*, 1992).

En vid, el nitrógeno es determinante de la calidad y excesos en el mismo se traducen en mayores tamaños de bayas con un menor contenido de azúcares (Brunetto *et al.*, 2015). Además, la mayor relación pulpa:piel conlleva una disminución en la concentración de antocianinas en el mosto. Los valores deficitarios de nitrógeno también alteran el proceso de fermentación. Por lo tanto, en este cultivo es esencial asegurar niveles adecuados de este nutriente.

## FUNCIÓN DE OTROS ELEMENTOS

Es escasa la información disponible sobre el efecto que tienen en la calidad otros nutrientes que no sean el calcio y el nitrógeno. Sin embargo, algunas conclusiones se pueden extraer en función de la coincidencia de resultados obtenidos con algunos de ellos.

Por ejemplo, dentro de los macroelementos, es conocido que la falta de potasio influye directamente sobre el calibre del fruto. Siendo el potasio el mineral que se encuentra en mayor concentración en los frutos, donde cumple un rol osmótico, se puede justificar tal aseveración. En el caso de frutales de pepita, por ejemplo, una deficiencia marcada de potasio del orden de 0,6 - 0,7 % en las hojas se corresponden con frutos de menor calibre. Otro rol importante del potasio es el de aumentar la acidez en el fruto, contribuyendo a mejorar el balance con los azúcares (Cummings & Reeves, 1971).

En un ensayo realizado en manzano 'Red delicious' se estudió el efecto de aplicaciones foliares de calcio, potasio o ambas sobre la calidad de los frutos (Solhjo *et al.*, 2017). Las aplicaciones foliares de cloruro de calcio (5 g CaO/L) se iniciaron tres semanas luego de la floración y se repitieron cada tres semanas hasta completar cinco aplicaciones. En tanto que se realizaron tres aplicaciones foliares de distintas fuentes de potasio (2,5 g K<sub>2</sub>O/L) iniciando a las 9 semanas luego de la floración. Las aplicaciones de calcio incrementaron la concentración de calcio y la firmeza en los frutos. Las aplicaciones de potasio incrementaron el contenido de antocianinas y azúcares en el fruto. La aplicación combinada de ambos nutrientes obtuvo mayores tamaños de fruto y un efecto sinérgico en la concentración de calcio (Cuadro 14.6).

**Cuadro 14.6.** Efecto de aplicaciones foliares de cloruro de calcio y distintas fuentes de potasio sobre la calidad de manzanas 'Red delicious' (datos de Solhjo *et al.*, 2017).

Tratamiento	Peso fruto (g)	Firmeza (N)	Calcio fruto (ppm)	K/Ca en fruto	Antocianinas (mg/g)	Azúcares totales (mg/g)
T0:Testigo	147	42,1	299	26	26,0	9,6
T1:5xCaCl <sub>2</sub>	154	45,6	391	21	27,9	11,6
T2:3xKN03	154	42,6	293	28	33,4	13,2
T3:3xK2SO4	153	42,5	298	28	33,4	13,6
T4:3xKCl	154	44,2	392	22	32,7	15,3
T1+T2	158	45,3	461	18	31,2	13,7
T1+T3	157	45,6	441	20	31,3	12,9
T1+T4	158	45,0	425	19	30,6	13,9

El fósforo en manzanos está relacionado con la incidencia al decaimiento de los frutos por baja temperatura (Sharples, 1980) y a frutos con poca firmeza (Reeves & Cummings, 1970, Sharples, 1980). Se ha visto que células con bajo nivel de fósforo son más grandes que las normales y contienen menos fosfolípidos en las membranas celulares, por lo que un buen nivel de fósforo puede contribuir a fortalecerlas. La concentración de fósforo en las hojas se correlaciona muy bien la concentración de fósforo en los frutos. Idealmente una concentración mínima de 0,24 % de P en hoja garantiza una buena concentración de fósforo en los frutos.

El magnesio, en niveles normales en hoja, no influye ni altera la calidad de los frutos. Estos toman magnesio en cantidad algo mayor al calcio y, siendo competidor de éste, puede comprometer seriamente la calidad. Aplicaciones crecientes de magnesio en durazneros resultan en frutos de menor firmeza, color rojo y menor vida de estante (Reeves & Cummings, 1970). En cambio, si el árbol es deficiente en este nutriente, las posibles defoliaciones hacia fines del verano pueden provocar menor tamaño de fruto. El magnesio es muy importante en la fotosíntesis y, si a esto se le suma la disminución del área foliar producto de la pérdida de hojas, es de esperar algún impacto sobre el calibre de los frutos. Variedades de manzano como 'Gala' y 'Fuji' y de pera como 'Bosc', son muy sensibles a la deficiencia de magnesio. En estas variedades se debe tener especial cuidado con la fertilización potásica, con el fin de no agravar aún más la deficiencia.

De los elementos menores, el boro es probablemente el que más influya sobre la calidad de la fruta. Su participación en el metabolismo del calcio justifica el hecho de que algunos fertilizantes foliares a base de calcio incluyan al boro en su formulación. El boro es deficiente en muchas regiones donde se cultivan frutales, pero también se encuentra en exceso en otras. Ambos extremos tienen efectos negativos en la calidad de los frutos de pepita y carozo, tal como se ilustra en el Cuadro 14.7.

**Cuadro 14.7.** Síntomas de deficiencia y exceso de boro en frutos de pepita y carozo (Peyrea, 1994).

	Frutos de Pepita	Frutos de Carozo
Deficiencia	Frutos chicos, achatados	Frutos deformados, agrietados
	Presencia de corcho interno	Amarronamiento externo e interno
	Russetting y rajado	Maduración diferencial dentro del mismo fruto.
	Maduración anticipada	
Exceso	Menor rendimiento	Menor rendimiento
	Mayor decaimiento interno en poscosecha	Malformación de frutos
	Mayor desarrollo de corazón acuoso en poscosecha	Pobre desarrollo de la pepita
		Maduración temprana
		Menor sabor

Recientemente se ha encontrado también que aplicaciones precosecha de cinc pueden mejorar la calidad de los frutos. Así lo observaron Gianguzzi *et al.* (2017) en manzanos 'Galaxy'. Los autores encontraron que tres aplicaciones de sulfato de cinc al 0,2 % realizadas 15, 30 y 45 días previo a la cosecha incrementaban el tamaño del fruto y su coloración en la cosecha temprana. Este efecto del cinc merece mayores estudios. Cabe mencionar que el sulfato de cinc produce toxicidad en las hojas y frutos, aun en concentraciones bajas como la que mencionan los autores.

**Cuadro 14.8.** Efecto de aplicaciones foliares precosecha de sulfato de cinc sobre el tamaño y color de manzanas 'Galaxy' (Gianguzzi *et al.*, 2017).

Tratamiento	Peso de fruto (g)		% cobertura color	
	1° cosecha	2° cosecha	1° cosecha	2° cosecha
Testigo	121 ±16	130 ±20	44 ±19	90 ±7
3xZnSO4	144 ±20	156 ±22	65 ±15	94 ±4
	*	*	*	ns

## PREDICCIÓN DE LA CALIDAD DE LA FRUTA A PARTIR DE LOS ANÁLISIS MINERALÓGICOS

No existe la menor duda de que la nutrición mineral tiene una influencia notable en la calidad de los frutos. A lo largo de los años, se ha tratado de correlacionar en las diversas especies y cultivares la concentración mineral de los frutos con los atributos de calidad. La predicción de la calidad y capacidad de conservación de un lote de frutos, es una herramienta muy útil para definir el manejo técnico de poscosecha (Nielsen *et al.*, 2010). En el Cuadro 14.9 se sintetizan los hallazgos más importantes.

**Cuadro 14.8.** Efecto de aplicaciones foliares precosecha de sulfato de zinc sobre el tamaño y color de manzanas 'Galaxy' (Gianguzzi *et al.*, 2017).

Atributo	Especie/Cultivar 1	Correlación Positiva	Correlación negativa
Firmeza	Manzano	P fruto	
Tamaño	Manzano, Pera	K, N fruto	
Color	RD, G, F		N hoja, N fruto
Acidez	Manzano, Pera, Durazno	K fruto	
<i>Bitter pit</i>	Manzano	K/Ca, Mg/Ca y N/Ca fruto	Ca fruto
Corazón acuoso	Manzano	N, K, Mg y B fruto	Ca fruto
<i>Cork spot</i>	DA	N/Ca fruto	Ca fruto
Susceptibilidad al ataque de hongos	Manzano, Pera, Durazno	N/Ca fruto	Ca fruto
Decaimiento por baja temperatura	Cox		Ca y P fruto

<sup>1</sup> RD=Red Delicious; G=Gala; F=Fuji, Cox=Cox Orange Píppen; DA=D'Anjou.

En el pasado, la extensión del período de conservación fue un aspecto clave, en una época donde la atmósfera controlada no existía. En ese entonces, la variedad 'Cox's Orange Pippin' en Inglaterra, marcaba una preferencia clara por parte de los consumidores de aquel país, pero tenía la enorme desventaja de ser muy susceptible al *bitter pit*. Los técnicos de la prestigiosa Estación Experimental de East Malling, determinaron qué concentraciones se correspondían con una buena calidad de la fruta para favorecer su almacenamiento. Los resultados se expresan en el Cuadro 14.10. En otras regiones se han establecido valores de concentración óptima de calcio levemente inferiores (4-4,5 mg/100 g).

**Cuadro 14.10.** Concentración mineral en frutos de manzano (mg/100 g fruto seco) para lograr una buena conservación (Sharples, 1980).

Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	N/Ca	K/Ca
Cox O.P.	50-70	>11	130-160	5,0	5,0		
Golden D.	36-43	5-10	95-105	>5,5	4,5	<10	<16,5

Es importante destacar que muchos de los valores recomendados son algo difíciles de lograr en los frutos si se quieren obtener buenos rendimientos, tal es el caso del nitrógeno. El objetivo de lograr alta calidad se contrapone en cierta medida con el de obtener máximos rendimientos. Por ejemplo, es ampliamente conocido el hecho de que a altos rendimientos existe un punto de inflexión donde cambia la distribución de calibres, disminuyendo proporcionalmente el segmento de los frutos de mayor tamaño. Al respecto, es de utilidad el Cuadro 14.11 donde se expresan los valores óptimos de nutrientes en hojas según sea el objetivo el rendimiento o la calidad para su conservación.

**Cuadro 14.11.** Concentración mineral en hojas de manzano para lograr un buen rendimiento y una adecuada conservación de los frutos (Sharples, 1980).

	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)
Rendimiento	2,4-2,6	0,20-0,25	1,30-1,6-	0,25-0,30
Conservación	2,4 máximo	0,24 mínimo	1,60 máximo	0,25 mínimo

En el trabajo de Sharples (1980) el análisis del fruto no sólo comprendía al calcio sino también a otros minerales, tales como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio. Los resultados obtenidos fueron muy buenos para esa situación en particular y de gran utilidad para los productores de 'Cox's'. De inmediato el protocolo de análisis fue repetido en otras regiones y para otras variedades pero con resultados variables. La explicación de por qué estos análisis funcionan con ciertas variedades y a veces en alguna temporada, pero no en otras, se debe buscar en la variabilidad que existe entre frutos de un mismo árbol y en la complejidad de la naturaleza del *bitter pit*.



En principio, las variedades que son susceptibles a esta fisiopatía presentan una baja concentración de calcio en el fruto ('Golden delicious', 'Cox's Orange Pippen', 'Braeburn'). Por lo tanto, un análisis con anterioridad a la cosecha siguiendo las pautas de muestreo recomendadas, puede detectar valores bajos de calcio. En cambio, para variedades como 'Red delicious', que presenta un amplio rango de concentración de calcio en los frutos y que manifiesta *bitter pit* en grado variable año a año (a veces sí, a veces no), el valor promedio de calcio no puede predecir un comportamiento durante el período de conservación. La variabilidad en la concentración mineral de los frutos de una misma planta puede ser más del 100 % para elementos como nitrógeno y calcio.

Se considera al análisis mineral de frutos como una herramienta más para decidir el destino de la fruta en variedades sensibles a fisiopatías. Un problema importante es que las mejores predicciones resultan de los análisis en el momento de la cosecha (Bramlage, 1995). Esto deja muy poco tiempo para tomar decisiones a nivel de establecimiento de empaque. Lo ideal sería contar con estas predicciones al menos dos o tres semanas antes de esa fecha.

Si bien el enriquecimiento de calcio en los frutos es mayor al principio de la temporada, a medida que se acerca la madurez los niveles de calcio pueden cambiar. De hecho, altas temperaturas pueden crear condiciones de estrés hídrico en las plantas y los frutos, que son una reserva importante de agua, pueden entregar a las hojas que lo circundan parte de su contenido hídrico que lleva, entre otros minerales, al calcio.

En este sentido es válida la hipótesis de Tromp (1979) quien manifestaba que el fruto crece preferentemente de noche, con lo cual se enriquece de calcio el cual es conducido a través del floema en mínimas concentraciones. De día, por el contrario, las elevadas temperaturas hacen que el fruto exporte agua y calcio. En este balance de ganancias y pérdidas se define la acumulación de calcio y, en definitiva, su concentración a lo largo del crecimiento del fruto.

Una manera práctica de diagnosticar posibles problemas de calidad de la fruta teniendo como base el contenido mineral del fruto, fue planteada por Fallahi *et al.* (1988). La metodología se basa en establecer un ranking de la fruta en base a aquellas variables que más influencia tienen sobre la calidad, usualmente el calcio y nitrógeno. Estas relaciones se obtienen una vez que la fruta fue cosechada y, por lo tanto, sirven únicamente para lotes de fruta que están almacenados y a los cuales quieran asignarse distintos períodos de conservación. Por ejemplo, un lote mejor dotado de calcio puede ser de más larga conservación que otro que tiene elevado nitrógeno y poco calcio.

Siguiendo igual razonamiento se podría predecir el comportamiento de la fruta en el período de poscosecha si se tomasen muestras en un lapso muy corto de tiempo (por ejemplo en tres o cuatro días) antes de la cosecha, para una misma variedad o clon. Si en ese momento se analiza calcio y nitrógeno, es posible establecer un ranking zonal para la misma variedad o clon en función de los valores de nutrientes resultantes del análisis. Así, por ejemplo, lotes con elevado calcio, tendrán mejores posibilidades de conservación que otros de baja concentración.

El ranking de calidad obtenido de esta manera, puede ayudar al empacador a tomar mejores decisiones en cuanto al destino final de su fruta y resultaría una buena herramienta para implementar dentro de grandes empresas, o en grupos cerrados de productores. Sin embargo, operativamente resulta muy importante actuar sin demora alguna y, en el término de una semana, poder realizar el muestreo, análisis e interpretación de los datos.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMIRI E.M.; FALLAHI E. & SAFARI G. 2009. Effects of preharvest calcium sprays on yield, quality and mineral nutrient concentrations of 'Asgar' table grape. *International journal of fruit science* 9(3), 294-304.
- BENITEZ, C. & CASTRO H. 2005. Capítulo 5: Factores agrotécnicos. *En: PERAS Y MANZANAS: Factores que afectan la calidad de los frutos*. Buenos Aires. Ediciones INTA.
- BRAMLAGE, W.J. 1995. Calcio y desordenes fisiológicos. *En: Calcio en fruticultura*. Simposio internacional, Universidad de Talca, Chile. (Ed). J.A. Yuri y J. Retamales, pág. 73-81.
- BRAMLAGE, W.J. & S.A. WEIS. 1994. Postharvest use of calcium. *In: Tree fruit nutrition*, (Ed). A. B. Peterson y R.G. Stevens, Good Fruit Grower, Yakima, Washington pags 125-134.
- BRUNETTO, G.; MELO, G.W.B.D.; TOSELLI M.; QUARTIERI M. & TAGLIAVINI M. 2015. The role of mineral nutrition on yields and fruit quality in grapevine, pear and apple. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37(4), 1089-1104.
- BUSSI, C. & M.J. AMIOT. 1998. Effects of nitrogen and potassium fertilization on the growth, yield and pitburn of apricot cv. Bergeron. *J. Hort. Sci. and Biotech.* 73: 387-392.
- CHAMEL. A.R. 1989. Permeability characteristics of isolated "Golden Delicious" apple fruit cuticles with regard to calcium. *J. Amer. Hort. Sci.* 114:804-809.
- CLINE, J.C.; E.J. HANSON; W.L. BRAMLAGE; R.A. CLINE & M.M. KUSHAD. 1991. Calcium accumulation in Delicious apple fruit. *J. Plant Nutr.* 14:1213-1222.
- CRISOSTO, C.H.; SCOTT JOHNSON; T. DEJONG & K.R. DAY. 1997. Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality. *HortScience*, 32:820-823.
- CUMMINGS, G.A. & J. REEVES. 1971. Factors influencing chemical characteristics of peaches. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96:320-322.
- DAANE, K.M.; R. S. JOHNSON; T.J. MICHAELIDES; C.H. CRISOSTO; J.W. DLOTT; H.T. RAMIREZ; G.Y. YOKOTA & D.P. MORGAN. 1995. Excess nitrogen raises nectarine susceptibility to disease and insects. *California Agriculture*, 49 (4)13-18.
- FALLAHI, E.; T.L. RIGHETTI & J.T. RAESE. 1988. Ranking tissue mineral analysis to identify mineral limitations on quality in fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:382-389.
- GERASOPOULOS D.; CHOULIARAS V. & LIONAKIS S. 1996. Effects of preharvest calcium chloride sprays on maturity and storability of Hayward kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology* 7(1-2): 65-72.
- GIANGUZZI G.; LIGUORI G.; SORTINO G.; PIVA G. & FARINA V. 2017. Effects of Zinc Foliar Nutrition on 'Gala' Apple Fruit Quality. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 23(2), 213-218.
- HANSON, E. 1995. Movimiento y distribución del calcio en la planta. *En: Calcio en fruticultura*. Simposio internacional, Universidad de Talca, Chile. (Ed). J.A. Yuri y J. Retamales, pag. 37-45.
- HUANG Y.; QIU L.; WANG Y.; YUAN Y. & QU H. 2020. Ca<sub>2+</sub> efflux is negatively correlated with apple firmness. *Scientia Horticulturae* Vol. 270.
- LANG. A. 1990. Xylem, phloem and transpiration flows in developing apple fruit. *J. Exp. Bot.* 41:645-651.
- LANG, G.; J. FLORE; S. SOUTHWICK; A. AZARENKO; T. FACTEAU & F. KAPPEL. 1997. Overtree sprinkler calcium may reduce rain-cracking. *Good Fruit Grower* 48:(12)27-30.
- LEGG, R.L.; THOMPSON, J.E.; BAKER, J.E. & LIEBERMAN, M. 1982. The effect of calcium on the fluidity and phase properties of microsomal membranes isolated from postclimacteric Golden Delicious apples. *Plant and Cell Physiology*, 23(2), 161-169.
- MALAKOUTI M.J.; TABATABAEI S.J.; SHAHABIL A. & FALLAHI E. 1999. Effects of calcium chloride on apple fruit quality of trees grown in calcareous soil. *Journal of plant nutrition*, 22(9), 1451-1456.

- MANGANARIS G.A., VASILAKAKIS M., MIGNANI I., DIAMANTIDIS G. & TZAVELLA-KLONARI K. 2005. The effect of preharvest calcium sprays on quality attributes, physicochemical aspects of cell wall components and susceptibility to brown rot of peach fruits. *Scientia Horticulturae* 107(1): 43-50.
- MUSACCHI S. & SERRA S. 2018. Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae* 234, 409-430.
- NEILSEN G.H. & NEILSEN D. 2002. Effect of foliar Zn, form and timing of Ca sprays on fruit Ca concentration in new apple cultivars. *Acta horticulturae* 594: 435-443.
- NEILSEN G.H.; NEILSEN D.; PERVEA F.J.; FALLAHI E. & FALLAHI B. 2010. Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples. *Acta Horticulturae* 868: 49-60.
- PEYREA, F.J. 1994. Boron nutrition in deciduous tree fruit. *En: Tree Fruit Nutrition*. (Eds) A.B. Peterson y R.G. Stevens, Good Fruit Grower, Yakima, Washington, pag. 95-99.
- RAESE, J.T. 1996. Nitrogen fertilizer rates and timing affect winter hardiness of pear trees. *Proceedings 92nd annual meeting Washington Horticultural Society*, pag. 157-169.
- RAESE J.T. & DRAKE S.R. 1993. Effects of preharvest calcium sprays on apple and pear quality. *Journal of plant nutrition*, 16(9), 1807-1819.
- RAESE, J.T.; S.R. DRAKE & M.W. WILLIAMS. 1997. Quality of Fuji apples related to nitrogen levels. *Good Fruit Grower*, 48 (9) 42-44.
- RAESE, J.T. & D.C. STAFF. 1983. Effect of rate and source of nitrogen fertilizers on mineral composition of D' Anjou pears. *J. Plant. Nutr.* 6:769-779.
- REEVES, J. & G. CUMMINGS. 1970. The influence of some nutritional and management factors upon certain physical attributes on peach quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95:338-341
- SAMS C.E. & CONWAY W.S. 1984. Effect of calcium infiltration on ethylene production, respiration rate and quality of Golden Delicious apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 53-57.
- SÁNCHEZ, E.E.; T.L. RIGHETTI, D. SUGAR & P.B. LOMBARD. 1992. Effects of timing of nitrogen application on nitrogen partitioning between vegetative, reproductive, and structural components of mature Comice pears. *J. Hort. Sci.* 67:51-58.
- SÁNCHEZ, E.E.; H. KHEMIRA; D. SUGAR & T.L. RIGHETTI. 1995. Nitrogen management in orchards. In: P.E. Bacon (Ed) *Nitrogen fertilization in the Environment*. Marcel Dekker, Inc. New York. pag 327-380.
- SAENZ, J.L.; T.M. DEJONG & S.A. WEINBAUM. 1997. Nitrogen stimulated increases in peach yields are associated with extended fruit development period and increased fruit sink capacity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122:772-777.
- SHARPLES, R.O. 1980. The influence of orchard nutrition on the storage quality of apples and pears grown in the United Kingdom. *En: D. Atkinson, J.E. Jackson, R.O. Sharples, y W.M. Waller (eds) Mineral Nutrition of Fruit Trees*. Butterworth, London, pág. 17-28.
- SHIRI M.A.; GHASEMNEZHAD M.; FATAHI MOGHADAM J. & EBRAHIMI R. 2016. Effect of CaCl<sub>2</sub> Sprays at Different Fruit Development Stages on Postharvest Keeping Quality of "Hayward" Kiwifruit. *Journal of Food Processing and Preservation* 40(4): 624-635.
- SILVA, H. & P. LARRAÍN. 1997. Fertilizantes foliares cálcicos en desordenes fisiológicos tipo bitter pit. *Fertilizar* 9:16-19.
- SOLHJOO S.; GHARAGHANI A. & FALLAHI E. 2017. Calcium and potassium foliar sprays affect fruit skin color, quality attributes, and mineral nutrient concentrations of 'Red Delicious' apples. *International Journal of Fruit Science*, 17(4): 358-373.
- SUGAR, D.; T.L. RIGHETTI; E.E. SÁNCHEZ & H. KHEMIRA. 1992. Management of nitrogen and calcium in pear trees for enhancement of fruit resistance to postharvest decay. *Hort. Tech* 2:382-387.
- TROMP, J. 1979. The intake curve for calcium into apple fruits under various environmental conditions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 10:225-226.
- TZOUTZOUKOU, C.G. & D.L. BOURANIS. 1997. Effect of preharvest application of calcium on the postharvest physiology of apricot fruit. *J. Plant Nutr.* 20:295-309.

## ANEXO

Programa de manejo de *Bitter Pit*

A lo largo de este capítulo se ha enfatizado en la importancia de realizar manejos integrales para resolver problemas de calidad de la fruta. El *bitter pit* en manzana es causal de pérdidas económicas graves en las diversas regiones productoras, no sólo por lo que significa volver a repasar la fruta en el empaque sino, lo que es más importante, muchas veces está en juego la reputación del país exportador.

Técnicamente el *bitter pit* no ha sido resuelto hasta el momento, pero existe consenso respecto del abordaje multidisciplinario que se debe realizar para lograr minimizar sus efectos. Por esta razón se debe enfocar el problema en un marco de manejo integral del monte frutal, utilizando todas las prácticas culturales en la etapa de campo, así como el manejo de la fruta en cosecha y poscosecha, tendientes a reducir la incidencia y severidad de esta fisiopatía. Las pautas descriptas a continuación son de fácil realización. Los mejores resultados se obtendrán dependiendo de la correcta implementación de las mismas.

<b>Reposo invernal</b>	Plantar cortinas rompeviento para reducir la tasa de transpiración y favorecer el transporte de calcio al fruto.
	Podar correctamente. Renovar madera vieja y dardos.
	Realizar análisis de suelo. Chequear pH y asegurarse que el calcio en el suelo sea un 70-80 % de la CIC.
	Agregar calcio al suelo si es necesario.
	Aplicar potasio únicamente en caso de deficiencia. El exceso de potasio favorece el desarrollo de <i>bitter pit</i> .
<b>Pre-floración</b>	No regar si el contenido de humedad del suelo es óptimo. Riegos tempranos asfixian raíces y no permiten la absorción de calcio
	En el estado de puntas verdes aplicar cinc si el análisis foliar de verano dio una concentración de cinc menor a 12 ppm. De lo contrario, esperar hasta la primavera.
	Aplicar boro desde el 30 % al 100 % de floración si existe deficiencia y no se pudo corregir en el otoño, para favorecer un buen cuaje de fruto y la formación de más semillas. Las semillas favorecen la importación de calcio al fruto. El boro además facilita el transporte de calcio hacia el fruto y lo estabiliza en la pared celular.
	Asegurar una correcta polinización de las flores. Debe haber suficientes abejas (2-3 colmenas/ha) y suficientes polinizadoras (10-12 %). Promover la coincidencia de la floración de la polinizadora con la del cultivar principal.
<b>Plena y Pos-floración</b>	Realizar un correcto raleo químico. Las reservas de calcio se repartirán en menos frutos.

Sigue en la página siguiente

<b>Caída de pétalos</b>	Aplicar nitrógeno si es necesario, sin excederse para no inducir vigor. Recordar además que el nitrógeno amoniacal compite con la absorción de calcio. Basar la cantidad de nitrógeno en el análisis foliar, vigor y rendimiento.
	Aplicar zinc para favorecer una rápida expansión de las hojas e incrementar el área foliar del dardo. A mayor área foliar, mayor incorporación de calcio al fruto.
<b>Primavera</b>	Una primavera húmeda y fresca restringe la absorción y transporte de calcio al fruto. No regar en exceso. Tratar plantas afectadas con <i>Phytophthora</i> sp.
	Realizar un correcto raleo manual, preferentemente antes de los 40 días posteriores a plena floración. No sobreraleo. Existe una correlación directa entre tamaño de fruto e incidencia de bitter pit. En montes con antecedentes severos de esta fisiopatía, raleo frutos grandes.
	Controlar el vigor de las plantas. Emplear el déficit de riego controlado de ser necesario en el período de división celular del fruto.
<b>Verano</b>	Veranos secos con baja humedad y vientos cálidos provocan más bitter pit. Regar correctamente, evitar el sol directo al suelo desnudo. La temperatura óptima de suelo para la absorción de calcio se da entre 12-18 °C. Proteger los árboles del viento.
	Realizar una fertilización foliar de cinc en casos de deficiencia. Esta aplicación se dirige más a las hojas del tiraje del año.
	Realizar poda de verano para contener el crecimiento, provocar menos competencia por el calcio y lograr una mejor penetración del calcio si éste es pulverizado. No fertilizar con nitrógeno bajo ningún concepto.
	Evitar estrés hídrico. Regar chequeando el contenido de humedad del suelo.
	Pulverizar con calcio adecuadamente. El pH ideal de la mezcla es 7-9. No mezclar potasio y magnesio con calcio ya que compiten entre sí. Calibrar correctamente la pulverizadora considerando tamaño de la gota, correcto TRV, capacidad de la turbina, dosis/ha, correcta cobertura de la fruta.
	Tratar las raíces contra pulgón lanífero. Se necesita disponer de todo el sistema radical sano para la absorción de calcio.
<b>Cosecha</b>	Cosechar a partir del estado óptimo de madurez de la variedad. Existen evidencias de que el calcio soluble se mueve hacia el fruto en este estado tardío.
	Cosechar por separado árboles jóvenes o rebajados y montes de poca producción. Mantener esta fruta fuera del stock destinado a exportación.
	El tratamiento con calcio en el drencher complementa las aplicaciones de pre-cosecha.
	Enfriar rápidamente la fruta para eliminar cuanto antes el calor con el que viene del campo.
<b>Empaque y Conservación</b>	Clasificar correctamente.
	Vender de acuerdo a la calidad basada en el análisis de fruto e historia del monte.
	Definir de antemano lo que será fruta de corta, mediana y larga conservación.

Sigue en la página siguiente

<b>Otoño</b>	Tomar los recaudos necesarios en términos de riego, fertilización y crecimiento radical, para promover las reservas de Ca y el desarrollo de yemas. Drenar suelos húmedos. Tratar plantas afectadas con <i>Phytophthora</i> sp.
	Fertilizar con nitrógeno y boro de ser necesario. Aplicar el 60 % del nitrógeno en esta época.
	Corregir suelos salinos y suelos con impedimentos físicos que restrinjan el crecimiento de raíces.
	Podar para obtener un mejor ingreso de la luz en el árbol, mejor desarrollo de yemas de fruta, árboles más fácilmente pulverizables, etc.

Adaptado de T. du Preez y modificado para las condiciones del Alto Valle de Río Negro por E. Sánchez y técnicos del Programa Cambio Rural.

*capítulo*

# 15

## FERTILIZACIÓN DE MONTES JÓVENES Y ADULTOS: UNA SÍNTESIS GENERAL

Las plantas nuevas requieren cuidados especiales en cuanto al movimiento del suelo, riego y fertilización, algo diferentes a los habituales en un monte adulto. Estas particularidades se fundamentan en razones fisiológicas.

Una planta de vivero presenta, en general, un sistema radical muy pobre en comparación con la biomasa de la parte aérea. Si bien estas plantas generalmente se podan con el fin de restablecer el equilibrio entre la parte aérea y la raíz en el momento de la plantación, el crecimiento radical en los primeros años es muy lento en comparación al crecimiento aéreo. Los frutales presentan la característica de poseer una baja densidad radical en comparación a otros cultivos como, por ejemplo, las gramíneas; pero a diferencia de éstas, la tasa de absorción de agua y nutrientes es sumamente elevada. Estas características hacen que si el suelo no puede aportar el agua y los minerales de manera continua, los frutales se estresen muy rápido por carencias hídricas y nutricionales. En contraposición, la recuperación de la planta es rápida, si existe disponibilidad de recursos.

Imagínese entonces una planta joven, con un sistema radical deficiente y con una tasa de crecimiento de raíces baja en comparación a la parte aérea. Imagínese también la necesidad del productor de hacer crecer esas plantas para cubrir rápidamente el espacio asignado y lograr precocidad en el cultivo, con el fin de recuperar en el menor tiempo posible el capital invertido. Se comprenderá entonces, la necesidad de realizar un manejo integral e intensivo del suelo, riego y fertilización a efecto de lograr rápidamente el objetivo planteado.

Por lo expuesto, la fertilización de un frutal vía suelo y foliar en los primeros dos-tres años, no es una opción sino un requerimiento. Como se puntualizó en este libro, los manejos son diferentes si se trata de un monte moderno con fertirriego o una plantación tradicional con riego gravitacional.

En el primer año de plantación, para ambos casos, pero especialmente para la situación del fertirriego, el grado de fertilidad química del suelo no se tiene tanto en cuenta como la fertilidad física del suelo y la preparación del mismo. Aun en plantaciones convencionales, el logro de crecimientos vegetativos elevados no se logra con la fertilidad natural del mejor suelo. Siempre va a existir una respuesta al nitrógeno, fósforo, y a algunos micronutrientes como el cinc,

Las fertilizaciones por suelo en la primera temporada, comienzan en el momento de plantación con la colocación de estiércol estacionado y superfosfato triple (150 gramos) en el sitio de plantación, pero lejos del contacto con las raíces. Ello se logra agregando una palada de suelo superficial entre el fertilizante y la planta. Existen también fertilizantes a base de macronutrientes de lenta liberación, aunque su uso es mucho menor por razones de costo.

Las aplicaciones nitrogenadas en el suelo deben hacerse en forma diluida pero constante a partir del mes de noviembre, cuando los brotes tengan al menos 10 centímetros de longitud. Se recomienda aplicar sulfonitrato de amonio a razón de 10 gramos de nitrógeno por planta en la primera aplicación y de 15 gramos en las sucesivas. Esta aplicación se deberá repetir cada 15-20 días hasta totalizar 70-75 gramos de nitrógeno por planta en el primer año. También es aconsejable la aplicación de fertilizantes nitrogenados de lenta liberación. Estos contienen inhibidores de la nitrificación por lo que el paso a la forma nitrato es más lenta y por lo tanto menos susceptible al lavado.



Es conveniente aplicar el fertilizante nitrogenado luego de un riego, cuando el suelo este todavía húmedo. De hacerlo antes del riego el fertilizante deberá localizarse fuera del surco pero en una zona que llegue el agua a fin de incorporarlo en la zona de la raíz. En condiciones de fertirriego, las dosis de nitrógeno se pueden repartir semanalmente o incluso cada dos semanas, si el suelo tiene buena capacidad de retención de humedad y la zona del bulbo húmedo es lo suficientemente amplia. En suelos arenosos, en cambio, será necesaria una mayor frecuencia en las aplicaciones.

Debido al crecimiento superficial del sistema radical en la primera temporada, la eficiencia de aplicación es sumamente baja, de allí la necesidad en plantaciones convencionales de repetir esta operación entre 4 y 5 veces durante el primer año.

En forma paralela se deberá ayudar con aplicaciones foliares, combinando macro y micronutrientes conjuntamente o en forma separada. Las aplicaciones foliares en el primer año comienzan con posterioridad a las aplicaciones por suelo y deben sucederse también cada 15-20 días. Por razones técnicas no conviene mezclar más de dos o tres nutrientes por aplicación. Los cócteles nutricionales no son tan efectivos como las pulverizaciones separadas de nutrientes, en donde es posible incrementar sus concentraciones. Este manejo es muy específico y requiere de cierto conocimiento acerca de compatibilidades de productos y dosis máximas permisibles.

Si bien es conocido el efecto favorable que ejercen los micronutrientes en las plantas en general, se puede decir que el cinc es tal vez el más crítico. En frutales de pepita y carozo es muy frecuente encontrar respuesta a este elemento. Su aplicación en una plantación joven debe hacerse por vía foliar al menos dos veces en la temporada, con el fin de mantener una concentración en hoja no inferior a las 20 ppm.

La correcta nutrición y el buen manejo del agua de riego no son suficientes si no se controla la competencia que ejercen las malezas en la línea de plantación, ya sea con herbicidas o mulches. En cuanto a los primeros, las opciones a usar son varias. Por ejemplo inmediatamente después de plantar se podría aplicar un preemergente como pueden ser los derivados de la urea (Diurón, Linurón) a razón de 3-4 kg/ha según el tipo de suelo. La aparición de malezas anuales durante la primavera y el verano pueden controlarse con aplicaciones de Paraquat a razón de 4 litros/ha o mediante graminicidas selectivos, de ser necesario. En caso de tener que recurrir a herbicidas sistémicos efectivos como el glifosato o compuestos afines para controlar malezas perennes (*Cynodon dactylon*, *Convolvulus arvensis*, *Sorghum halepense*, etc) es necesario utilizar pantallas para evitar el mojado del tallo. Por razones de seguridad no es aconsejable el uso de glifosato durante los primeros tres años de vida del monte frutal.

Las aplicaciones de herbicidas deben concentrarse a la línea de plantación, mientras que conviene que el interfilas se trabaje con una pastura perenne como la festuca. Aquí sí es importante considerar el efecto favorable que tendrá esta cobertura sobre las propiedades del suelo, una vez que el monte entre en su etapa adulta.

Una excelente opción para minimizar la competencia con las malezas, es el manejo con mulches, ya sean sintéticos u orgánicos como se tratara en el capítulo 6.

En síntesis, los fertilizantes que se aplican por vía suelo se centran más en los macronutrientes (fundamentalmente nitrógeno), mientras que los micronutrientes siempre conviene agregarlos en forma foliar, aun si se tratase de montes con sistema de riego presurizado en donde es factible fertirrigar.

En cuanto a los fertilizantes nitrogenados a emplear, ensayos realizados en la EEA Alto Valle demuestran claramente que la urea es el fertilizante menos aprovechable en las aplicaciones por suelo debido probablemente a pérdidas por volatilización y lavado. En cuanto a los micronutrientes, estos pueden ser aplicados en forma quelatada (EDTA, amino ácidos, lignosulfonatos o no como, por ejemplo, el óxido de cinc. En el caso del boro, el ácido bórico o el bórax son alternativas válidas.

Si el manejo se hizo correctamente, es posible lograr crecimientos óptimos que oscilen en 120 a 150 centímetros en la primera temporada para variedades tipo estándar. Si no es así, es probable que existan restricciones en el suelo que limiten el crecimiento radical. De allí la importancia de realizar el estudio de suelos previo a la plantación.

En el segundo año, se debe continuar con el programa de fertilización incrementándose la dosis de nitrógeno en un 30 %. En cambio los micronutrientes, se pueden aplicar en dos o tres oportunidades, según la necesidad. De no existir limitantes, al cabo del segundo año se deberá cubrir el espacio asignado a cada planta. Si el crecimiento fue bueno, no es necesario recurrir al análisis foliar para evaluar el estado nutricional del monte. Por el contrario, si a pesar de los cuidados brindados en el manejo de la planta y el suelo, los crecimientos no fueron buenos se deberá realizar un análisis foliar para ajustar el equilibrio de nutrientes en la planta. En el tercer año se entra en una etapa de producción más importante y se debe balancear los crecimientos vegetativos con el rendimiento.

Ya en esta etapa, los frutales de carozo requieren de una fertilización más afinada, en donde se debe considerar el tipo de variedad dentro de la especie, al menos en lo referente a variedades tempranas y tardías. En este momento comienza a tomar importancia el análisis foliar como herramienta que ayuda a decidir el futuro manejo nutricional del monte. Esta técnica es una guía más que el técnico debe tener en cuenta, pero no puede por sí sola recomendar qué nutriente aplicar y mucho menos en qué dosis.

La concentración de los minerales en hoja es una consecuencia del riego, la disponibilidad de los nutrientes, la poda, el crecimiento vegetativo, la carga de fruta y el estado sanitario de las plantas, entre otros. En consecuencia no existe una receta de cómo fertilizar y en qué momentos. El conocimiento integral de planta y el objetivo claro de lo que se persigue, determinan los manejos a seguir.

## FERTILIZACIÓN DE MONTES ADULTOS

La fertilización de montes adultos, debe ajustarse a lo que marca el diagnóstico nutricional. Las medidas correctivas o de mantenimiento se detallan a lo largo del libro cuando se trata cada uno de los nutrientes. Sin embargo, es apropiado reflexionar sobre algunos puntos a manera de resumen.

El empleo de fertilizantes en montes de alta productividad, es una práctica de rutina. Lamentablemente en muchos casos se aprecia un exceso de dosis de fertilizante nitrogenado. Por otra parte, las carencias de macro y micro nutrientes a través de los años conducen al paulatino decaimiento de los montes, situación que es más difícil de revertir que la anterior. En durazneros y nectarinas, la falta de vigor se traduce en una deficiente floración en cantidad y calidad y los problemas de falta de tamaño de los frutos son aún más graves que en el caso de los frutales de pepita.

En montes convencionales y equilibrados, se deberá fertilizar anualmente al menos con nitrógeno y con aquellos micronutrientes de deficiencia crónica en la zona, siendo necesario ajustar el programa en base a los análisis de suelo y foliar. En el caso del Alto Valle de Río Negro, como así también en la mayoría de los cultivos en la provincia de Mendoza, las deficiencias de cinc son muy acentuadas y deben corregirse temprano en la primavera a través de la vía foliar. Deficiencias de fósforo son más bien raras y se corresponden con crecimientos radicales subóptimos. De no existir problemas de suelo que restrinjan el crecimiento de las raíces, se deberá recurrir a la aplicación de fertilizante, preferiblemente superfosfato triple de calcio, por su costo por unidad de nutriente y efectividad. En condiciones de fertirriego, se deberán realizar monitoreos frecuentes en el suelo y a nivel foliar con el fin de ajustar el programa nutricional, que como se dijo, incluye la aplicación no solo de nitrógeno. Con respecto a la fertilización fosfatada, la fuente preferida en fertirriego es, sin dudas, el ácido fosfórico y en lo que respecta a potasio, la fuente nitrato.

En montes convencionales, en el caso de la fertilización con potasio, el cloruro es una excelente elección con dosis que varían entre 200 y 300 kg/ha. En estos casos, los momentos de aplicación pueden ser inmediatamente después de la cosecha (preferentemente variedades tempranas) o antes de la brotación.

El nitrógeno es algo más difícil de manejar por lo siguiente; en primer lugar el momento de aplicación es decisivo en cuanto a la partición del elemento en la planta. Mientras que fertilizaciones en poscosecha se movilizan hacia las reservas de la planta, las aplicaciones primaverales se dirigen más hacia los brotes y los frutos. Como se sabe, todas las especies perennes se nutren de las reservas en las primeras etapas de crecimiento por lo que cumplen un rol muy importante en una época crítica, como la floración y el cuaje de los frutos. Sin embargo, si la planta no dispone del nitrógeno necesario en el período de elongación celular de los frutos, éstos no llegan a obtener el tamaño deseado aun con un raleo correcto.

Todas las fuentes de nitrógeno son de rápida disponibilidad para la planta. En suelos pesados se prefiere a los nitratos mientras que en suelos arenosos al sulfato de amonio. La urea requiere un manejo más prolijo, porque si no es incorporada al suelo (usualmente a través del riego), una porción se pierde por volatilización.

Las dosis de nitrógeno varían mucho con el estado del monte, la carga de fruta y la eficiencia de la aplicación. Dependiendo del tipo de riego, la eficiencia puede ser tan baja como del 10 % cuando se riega por manto hasta un valor máximo del 60-70 % que se obtiene mediante fertirriego.

Lo que se recomienda en plantaciones adultas convencionales, es el riego controlado por surcos o bateas, donde el fertilizante nitrogenado se debe aplicar manualmente una vez que el agua ha penetrado en el suelo en un 50 %. De esta forma se minimizan las pérdidas por lavado y el fertilizante se localiza en los primeros 40 centímetros de suelo.

Los micronutrientes se incorporan eficientemente en la planta mediante aplicaciones foliares. En el mercado existen cientos de formulaciones foliares y la gran mayoría de ellos reclaman ser superiores al resto. Los quelatos son muy eficientes pero también es cierto que se obtienen muy buenos resultados cuando el producto aplicado tiene una concentración alta del micronutriente que contrarresta la baja eficiencia por unidad de nutriente aplicado. Conveniencia, compatibilidad con plaguicidas, seguridad y costo son factores determinantes. Todo nuevo producto debe testearse en el huerto para sugerir dosis máximas de aplicación sin síntomas visibles de toxicidad. Además todo nuevo producto debe compararse con el tradicional, o con el más comúnmente usado para visualizar posibles ventajas.

Lo cierto es que las aplicaciones foliares son útiles para: nutrir a la planta con micronutrientes, activar el metabolismo vegetal, corregir rápidamente desbalances nutricionales y complementar el trabajo de la raíz en períodos cortos de estrés.

La Nutrición Mineral es una de las tantas prácticas culturales que contribuye a obtener buenos rendimientos y óptima calidad de fruta. Los primeros capítulos del libro, introducen al lector en aspectos básicos de conocimiento, tanto de suelos y su manejo, como de la fisiología de la nutrición, conocimientos que resultan imprescindibles para poder diagramar un correcto manejo nutricional de los frutales de clima templado.

Seguidamente se abordan capítulos específicos que tratan el diagnóstico nutricional, el rol y manejo de los macro y micronutrientes y de la práctica de la fertilización convencional, foliar y por fertirriego.

De lectura sencilla, la obra está dirigida a profesionales, estudiantes avanzados y productores, con el fin de aportar a la mejora de la sostenibilidad económica, ambiental y social del sector.



Ministerio de Agricultura,  
Ganadería y Pesca  
**Argentina**