

Fisiología y manejo de la nutrición de boro, potasio y calcio en pomáceas

Jorge B. Retamales, Ingeniero Agrónomo, M. S., Ph. D.
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Chile

1.- Introducción

La producción exitosa de frutales depende de la integración adecuada de factores ambientales (clima, suelo), bióticos (cultivo, plagas, pestes, malezas) y humanos (manejo, capacidad empresarial), para generar la producción consistente y rentable de fruta de alta calidad (Fig. 1).

En cada huerto existe una condición particular, en la cual cada factor alcanza un determinado nivel. La cercanía o lejanía del nivel alcanzado por ese factor, respecto al nivel óptimo (definido para ese cultivo y para esa zona), establece no sólo la magnitud de las intervenciones o manejos productivos, sino que además, la rentabilidad del cultivo. Así, mientras más lejos se encuentre el nivel específico de un cierto factor en ese huerto respecto al óptimo para ese cultivo, mayor será el grado de intervención que deberá hacerse a través del manejo y más altos los costos (y menor la rentabilidad), para lograr cierta producción y calidad. Lo anterior tiene relación con la elección de las zonas más aptas para la plantación de una determinada especie y variedad; así, en la medida que previo a la plantación el productor conozca en detalle el grado de satisfacción que ese lugar específico provee de los requerimientos de ese material vegetal, menor será el costo de manejo para lograr una determinada calidad, y mayor su rentabilidad.

La planta representa un conjunto integrado de órganos que interactúan con el medio en el cual están creciendo. Nuestro objetivo de producir fruta en calidad y cantidad, sólo se puede lograr si brindamos a la planta las condiciones para satisfacer adecuadamente sus requerimientos, en la cantidad, forma y momentos en que lo requiera. Para que haya producción alta y consistente de fruta de calidad, debe mantenerse un balance, tanto entre crecimiento reproductivo vs. vegetativo, como así también entre la parte aérea y subterránea (raíz) de la planta (Fig. 1).

De acuerdo a lo anterior, manejos o condiciones ambientales que en un primer momento afecten a un órgano o parte de la planta, al cabo de un tiempo (días, semanas o meses) terminarán incidiendo sobre la planta completa. Lo anterior ocurre porque estamos trabajando con plantas perennes, las cuales acumulan carbohidratos y nutrientes en sus diversos órganos, dichos materiales deben ser distribuidos entre las diversas partes de la planta según tres criterios: prioridad, actividad y distancia.

La extracción de nutrientes por las plantas varía según el tipo de nutrientes y el crecimiento de diversos órganos (frutos, hoja, ramas, etc.). Un mayor rendimiento remueve del huerto minerales, especialmente potasio y nitrógeno, los que deben ser repuestos mediante la fertilización (Cuadro 1).

	80 ton/ha	60 ton/ha	40 ton/ha	Minerales en fruto	Minerales en hoja	Minerales en Madera
Elemento	Extracción minerales por frutos (Kg/ha)			mg/100 g	%	%
Nitrógeno	29-34	22-26	14-29	36-43	2,0-2,5	0,5-0,7
Potasio	72-120	54-90	36-60	90-150	1,2-2,0	0,35
Fósforo	4,8-9,6	3,6-7,2	2,4-4,8	6-12	0,1-0,2	0,1-0,15
Calcio	2,4-9,6	1,8-7,2	1,8-4,8	3-12	1,2-2,0	0,5
Magnesio	3,2-6,0	2,4-4,5	1,6-3,0	4-7,5	0,2-0,3	0,07
	g/ha			ppm		
Boro	160-230	120-240	80-160	2-4	20-40	---

Cuadro 1: Concentración de minerales en hojas fruto y madera de manzanos; remoción de minerales en una hectárea según diferentes rendimientos (40, 60 u 80 ton/ha). Yuri, 2005

Respecto a la prioridad de asignación de carbohidratos, la planta establece el siguiente orden: frutos, yemas, brotes y raíces. La actividad está dada por el tamaño y la tasa de crecimiento de un órgano. Finalmente, aquellos órganos con similar actividad y prioridad, tendrán mayor o menor acceso a carbohidratos según su distancia de los lugares donde se están generando (o donde están acumulados) los carbohidratos y nutrientes. Al respecto, cabe señalar que las raíces (las que absorberán los nutrientes requeridos por la planta) están en una situación altamente desmedrada respecto a los otros órganos de la planta, pues tienen un orden de prioridad más bajo y están normalmente a mayor distancia de las fuentes de carbohidratos y de los lugares de acumulación de nutrientes; por ello, ante situaciones de desbalance en el crecimiento de la planta, provocadas por variables ambientales o de manejo, las raíces son los órganos que reciben menos suministro de materiales para su crecimiento y desarrollo.

Sumado a lo anterior, está el hecho que, el tamaño del sistema radical de los frutales es comparativamente pequeño. En los estudios sobre el tema, se ha establecido la importancia relativa de la parte aérea y radical, a través de la relación entre el largo de la raíz (L) y el área de las hojas (A), en lo que se define bajo el concepto o relación LA (largo de raíz/área foliar). De acuerdo a dicho concepto, aquellas plantas con un valor LA bajo, están destinando una baja proporción de sus recursos a la raíz respecto a las hojas, y viceversa. Las mediciones han arrojado valores de LA de 100-1000 para gramíneas y 52-310 para dicotiledóneas herbáceas; para los árboles del tipo coníferas se tienen valores entre 69-126, mientras que para frutales los valores de LA son de 2-6. Eso implica que los frutales destinan comparativamente mucho menos recursos hacia las raíces respecto a lo que recibe el follaje; en esas condiciones, nuestras especies de interés están en una situación desmedrada respecto a la captación de agua y nutrientes. Ello tiene dos consecuencias prácticas de importancia para el manejo nutricional de nuestros huertos: 1.- dado el escaso tamaño del sistema radical y su poca capacidad de buffer o tampón, cualquier manejo que tenga efectos negativos (aún leves), sobre el sistema radical, repercutirá rápida y drásticamente sobre su actividad y crecimiento, y 2.- aún cuando las raíces de los frutales compensan en parte su menor tamaño con una mayor eficiencia (5-8 veces más que las de gramíneas), debemos proveer las condiciones para favorecer la actividad del sistema radical, para que este satisfaga adecuadamente los requerimientos de la planta.

Vinculado al punto anterior, está el hecho que gran parte de la absorción de nutrientes depende de la actividad de raíces jóvenes, las cuales sólo podrán generarse si existe una adecuada distribución y asignación de los carbohidratos disponibles en la planta. Considerando lo señalado sobre las prioridades de asignación de recursos dentro de la planta, las raíces de los frutales sólo crecen cuando los demás órganos no están creciendo. Así, los tejidos subterráneos concentran su crecimiento a principios de temporada (en el caso de los manzanos, con temperaturas de suelo superiores a 6,2 °C) y a fines de temporada (una vez cosechados los frutos y antes de completarse la caída de las hojas). Lo anterior tiene implicancias sobre aspectos prácticos de la fertilización, pues al haber deficiencias de un determinado elemento en la planta, debe evitarse la aplicación de elementos antagónicos en aquellas épocas del año donde exista mayor posibilidad de absorción del elemento deficitario. Así por ejemplo, en el caso de la nutrición de Ca, debe evitarse la aplicación de magnesio, potasio o compuestos amoniacales a inicios de temporada.

Los nutrientes realizan diferentes funciones en las plantas. La ausencia o escasez de un determinado elemento afecta el metabolismo o actividad de la planta, con lo cual la planta se ve afectada en su funcionamiento y crecimiento. Si falta un elemento, no puede ser reemplazado por otro y la planta deja de hacer algún proceso o lo hace más lentamente. En este contexto, como fruticultores nuestros objetivos son: 1.- conocer los requerimientos nutricionales de la planta, 2.- establecer la capacidad o potencial natural de nuestro huerto de suministrar dichas necesidades y 3.- entregar el o los elementos faltantes en la oportunidad, cantidad y forma que sean requeridos.

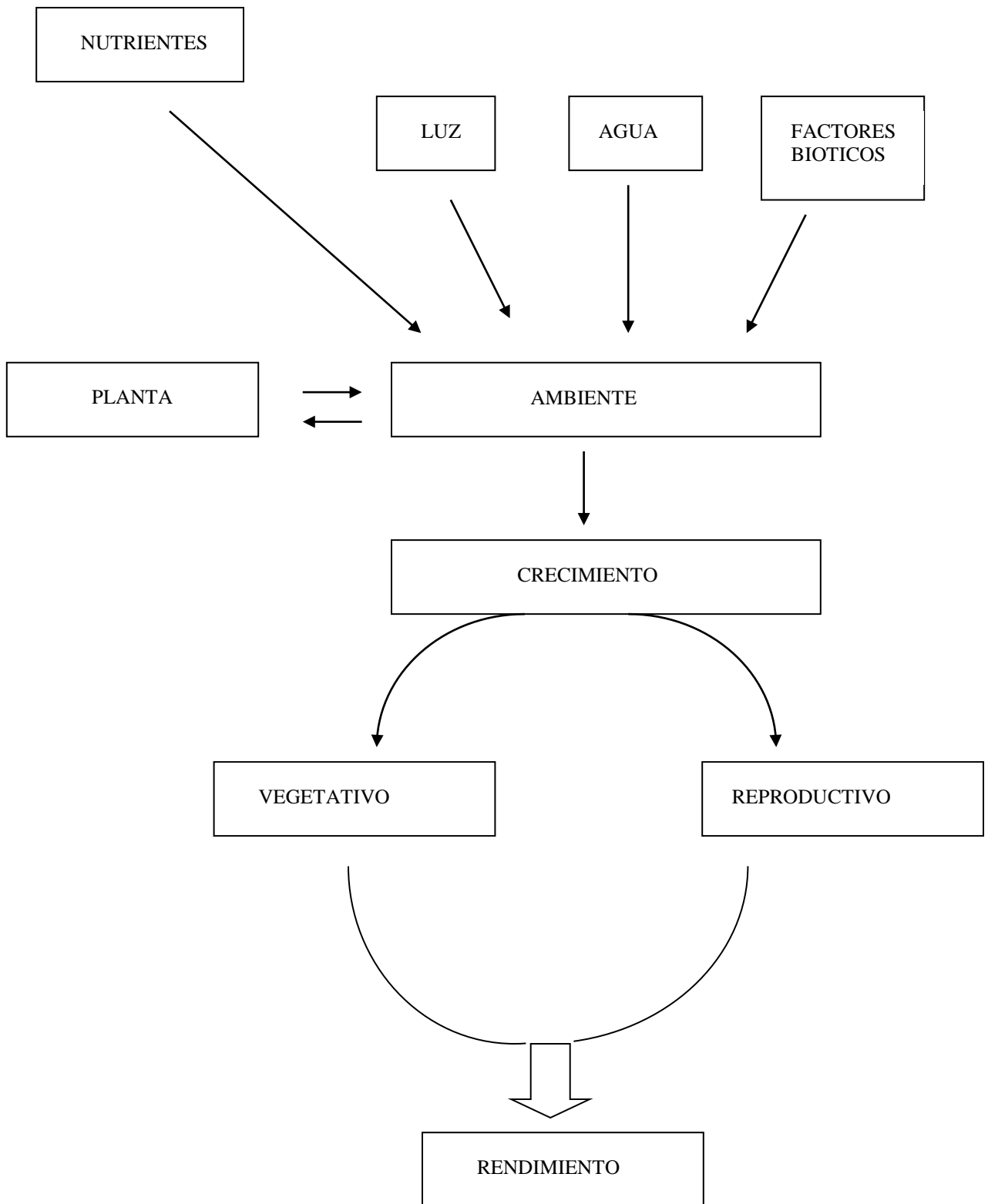


Figura 1: Factores ambientales, bióticos y de manejo que generan un rendimiento de calidad

Crecimiento relativo

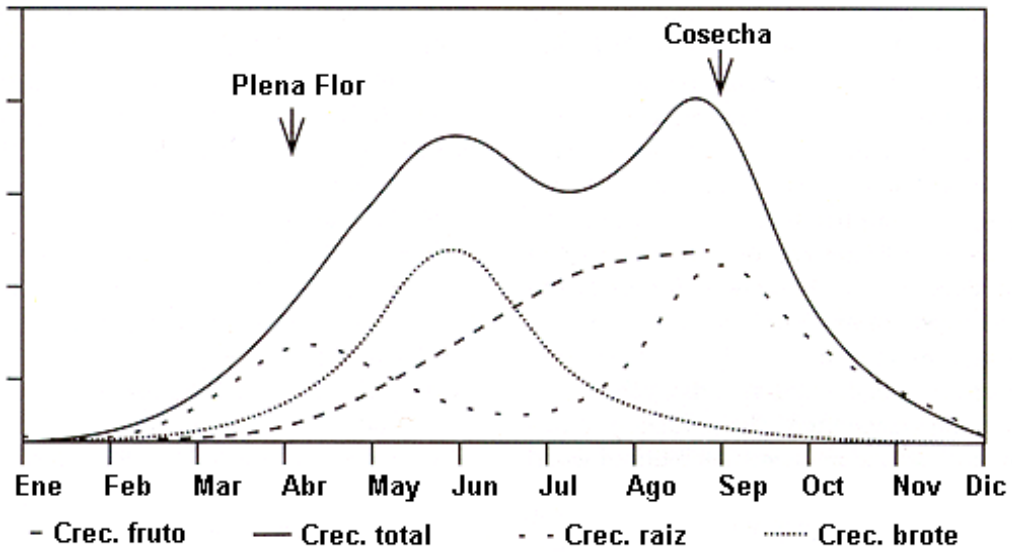


Figura 2: Modelo del crecimiento relativo de órganos de un manzano para el hemisferio norte (Fuente: Rom, 1996).

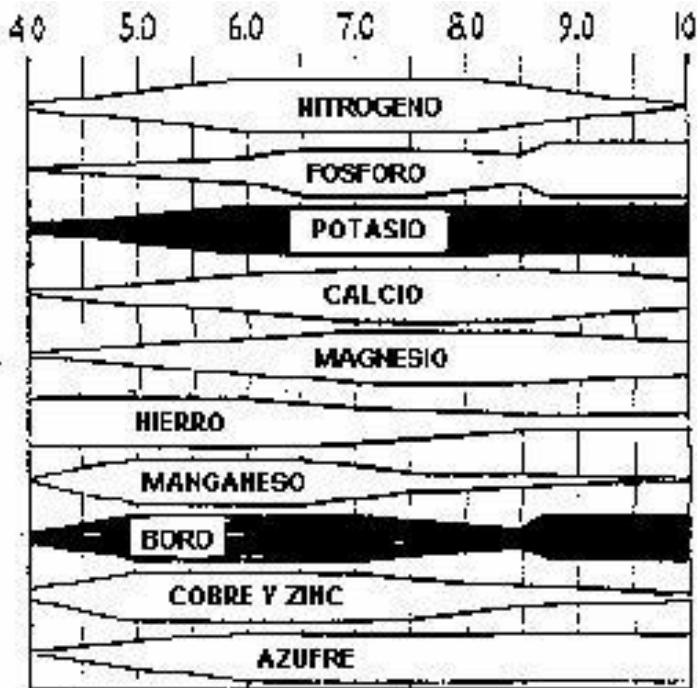


Figura 3. Efecto del pH del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes. Los números de la parte superior del gráfico representan pH (4,0 es muy ácido; 10 es muy alcalino). La máxima disponibilidad de un nutriente se representa donde la franja es más gruesa. Fuente: Childers, 1978.

En el presente capítulo abordaremos aspectos sobre la nutrición de tres elementos de particular importancia respecto a los rendimientos y la calidad de fruta; a saber: boro, potasio y calcio. Si consideramos el costo de la aplicación de estos elementos, estaremos de acuerdo que ellos inciden en baja proporción respecto a otras variables de manejo (Mano de obra, pesticidas, etc.); sin embargo, su importancia radica en los efectos detrimentales que una nutrición desbalanceada de boro, potasio y calcio pueda tener sobre la calidad y cantidad de la producción. Por otra parte, la aplicación de estos fertilizantes es altamente rentable, pues incide escasamente en los costos y, según su manejo, puede tener importantes implicancias en los retornos. Por ello, es de alta relevancia dar importancia a estos elementos minerales para brindar a la planta una nutrición mineral adecuada y oportuna que permita dar las condiciones para producciones altas y consistentes.

2.-Nutrición de Boro en pomáceas:

2.1.-Introducción

A nivel mundial, la deficiencia de Boro (B) es la más frecuente entre los microelementos. Es particularmente prevalente en suelos de texturas extremas (arenosas o arcillosas). La nutrición adecuada de B es crítica no sólo para lograr altos rendimientos, sino también por su efecto en la calidad de los frutos. Su deficiencia provoca diversos efectos anatómicos, fisiológicos y bioquímicos, muchos de los cuales tienen efectos secundarios. Por sus efectos sobre la magnitud y calidad de la producción, en nuestro caso de pomáceas, el conocimiento de sus características y del manejo de este elemento es relevante para los fruticultores.

2.2.-Fisiología

El boro es un microelemento esencial sólo para las plantas vasculares, no así para hongos y bacterias. El requerimiento de B es una característica evolucionaria ligada a la lignificación y diferenciación de tejidos vasculares. En base a su concentración molar, el B es el más abundante de los microelementos, especialmente en las dicotiledóneas (división vegetal a la cual pertenecen todos los frutales de hoja caduca).

En las plantas vasculares, el B se mueve desde las raíces con el flujo transpiratorio a través del xilema. Una vez en las hojas, se restringe la retranslocación del B y queda formando parte de las paredes de las células. Además, las concentraciones de B en el floema serían bajas, existe acumulación continua de B en las hojas y se presentan patologías en tejidos meristemáticos de la planta. Todo ello ha llevado a concluir que el boro es un elemento inmóvil en el floema de las plantas; sin embargo, estudios con B marcado han demostrado que en diversos frutales de la familia de las Rosáceas (a la cual pertenecen perales y manzanos), las aplicaciones foliares de B en otoño aumentaron la concentración del elemento en las hojas y que parte del B se movilizó hacia la corteza de los brotes. Luego, durante la primavera, el B se retranslocó a través del floema desde la corteza hacia las flores y aumentó la cuaja de frutos. Esta movilidad de B en frutales sería posible pues estas especies translocan los carbohidratos en forma de azúcar-alcohol (sorbitol), el cual es capaz de asociarse con el boro y facilitar su transporte.

2.3.-Funciones

El rol del B en la nutrición vegetal es el menos comprendido de todos los nutrientes minerales. Lo que se sabe del B proviene de estudios en los cuales se ha restringido y luego restablecido su suministro. El boro no forma parte de los catalizadores celulares (enzimas) ni hay evidencia que afecte directamente las actividades enzimáticas. Tendría un rol más estructural que catalítico o regulador del metabolismo.

Entre las funciones del B en la planta se señalan las siguientes: 1.- Transporte de azúcares, 2.- Síntesis y estructura de la pared celular, 3.- Lignificación de tejidos, 4.- Metabolismo de carbohidratos, 5.- Metabolismo de RNA (formación de enzimas), 6.- Metabolismo de auxinas (AIA), 7.- Metabolismo de fenoles, 7.- Membranas. Esta larga lista de funciones podría indicar que

el B está involucrado en muchas actividades metabólicas; alternativamente, podría deberse a un “efecto cascada” o en cadena. Los estudios sobre el tema favorecen la segunda opción.

Una función de especial relevancia en frutales, es la relacionada con el crecimiento del tubo polínico. Al respecto, se ha observado que el requerimiento de B para dicha función es mayor que el necesario para el crecimiento vegetativo. No existe acuerdo entre los investigadores respecto a su vinculación con la germinación del tubo polínico; pero sí es claro que el B afecta la capacidad productora de polen de las anteras, la viabilidad del grano de polen, así como también la cantidad y composición de azúcar en el néctar. En condiciones de temperaturas inferiores a las óptimas, se puede compensar parcialmente la reducción en cuaja al aumentar el nivel de B en el pistilo y granos de polen.

2.4.-Aporte del Suelo

Las partículas finas (arcilla y limo) y con alta materia orgánica, absorben o retienen el B y no lo hacen disponible para las plantas. En suelos con alto drenaje (de textura liviana), el B soluble en agua se lixivia en el perfil del suelo y se hace inaccesible para las raíces de las plantas. La disponibilidad de B está altamente relacionada con el pH del suelo; se reduce el suministro con pH mayor a 6,5 El B se lava en el suelo con exceso de precipitaciones o riego. Niveles extremos de humedad (muy húmedos o muy secos) también presentan menor disponibilidad de B. Por otra parte, la sequía reduce la movilidad en el suelo y la polimerización del ácido bórico. Las temperaturas bajas en el suelo reducen la disponibilidad de boro, probablemente por menor actividad radical.

La mayor parte del boro del suelo está asociado a la materia orgánica. Al descomponerse o mineralizarse la materia orgánica, el B se libera a la solución suelo, desde la cual lo pueden absorber las raíces. Las plantas responden a la concentración de B en la solución suelo y este elemento se mueve hacia los distintos órganos en forma pasiva (sin gasto de energía), a través del flujo transpiratorio de la planta. Considerando lo anterior, las raíces son las partes de la planta más sensibles al déficit de B, pues no reciben este elemento a través del flujo transpiratorio y sólo dependen del B que absorben desde el suelo.

2.5.-Demanda por la planta

Los requerimientos de B entre especies son altamente variables; así una cantidad que puede ser óptima para una especie puede ser tóxica o insuficiente para otras. En la planta, la mayor proporción del B forma parte de la pared celular, especialmente relacionado con sustancias pécticas; así, hasta 90% del B en las células se ha detectado en la pared celular.

Altas intensidades de luz aumentan el requerimiento de B por parte de los tejidos vegetales. Se piensa que ese mayor requerimiento se debe a necesidad de detoxificar los compuestos fenólicos formados por la luz.

2.6.-Sintomatología de déficit o exceso

Existe un estrecho margen de concentraciones entre déficit y exceso de este elemento en la planta. Tanto las concentraciones bajas como excesivas provocan problemas en la calidad de la fruta. Las manzanas con niveles deficitarios de B tienen menor vida postcosecha por su alta incidencia de descomposición interna. En el otro extremo, altas concentraciones de B aumentan la susceptibilidad al corazón acuoso y descomposición interna; además de un aumento en las pudriciones y una menor firmeza de la fruta.

2.6.1. Síntomas de Déficit: Las plantas deficitarias en B acumulan fenoles, lo que induce a aumentar las auxinas (o a reducir su degradación), ello reduce la diferenciación de los tejidos y se traduce en diversas sintomatologías en los distintos órganos.

Tejidos reproductivos: En las flores se observa quemazón. Por otra parte, los frutos se presentan pequeños, con menor número de semillas, deformes y achatados. Generalmente aumenta el corcho interno y hay mayor incidencia de russet y partidura. Existe mayor caída de

frutos y, en los restantes, la madurez se anticipa. En relación al bitter pit, el nivel de este desorden sería mayor al haber deficiencia de B en el suelo, aparentemente debido a la menor generación de raíces nuevas necesarias para la absorción de Ca temprano en la temporada. Niveles superiores a 50 ppm en la fruta estarían vinculados a incidencias de bitter pit inferiores a 5% (Figura 4). En Polonia, huertos de manzanos plantados en suelos con niveles deficitarios en B, mostraron mayor incidencia de bitter pit que el control (sin aplicación de B), al recibir aplicaciones foliares; en cambio, el bitter pit se redujo (respecto al control), luego de aplicaciones al suelo. Aparentemente, la mayor eficiencia de la aplicación foliar significó que dichas plantas alcanzaron niveles excesivos, en cambio la aplicación al suelo permitió lograr niveles adecuados de B. Alternativamente, los resultados indicarían que el B proveniente de las raíces estaría siguiendo una ruta diferente de distribución respecto a aquel que viene del follaje.

2.6.2. En la vegetación: Se presenta necrosis de la corteza (bark measles). Las yemas se van muriendo desde el ápice hacia la base (shoot dieback); a veces se observa escoba de bruja al brotar y crecer a través de yemas laterales. Los internodos son más cortos. Se presentan hojas chicas, tiesas, crocantes y gruesas, con márgenes suaves.

En raíces: Uno de los efectos más inmediatos frente a una escasez de B es la reducción o interrupción en el crecimiento en elongación de la raíz y se limita la diferenciación del xilema; por ello, las raíces de plantas deficientes en B se presentan de mayor grosor y más ramificadas.

2.6.3. Síntomas de exceso: Más común en zonas áridas o semiáridas; también cuando se riega con agua que contenga altos niveles de boratos. Existen variaciones en susceptibilidad según variedad; así mientras las manzanas del grupo Jonathan se reportan como susceptibles al exceso de B, mientras las del grupo Delicious serían poco susceptibles.

En frutos: El rendimiento se reduce parcial o totalmente. Aumenta la descomposición interna y el corazón acuoso. Se presenta desarrollo más temprano del color, pero a la cosecha no se observan diferencias respecto a plantas con niveles normales. Por otra parte, los frutos presentan mayor firmeza.

En la vegetación: Se presenta muerte de yemas terminales y brotes. Se observa clorosis marginal de hojas, seguido de necrosis y defoliación. Las hojas son pequeñas, elásticas al tratar de doblarlas. Los síntomas foliares pueden observarse a concentraciones algo menores a aquellas que reducen el rendimiento.

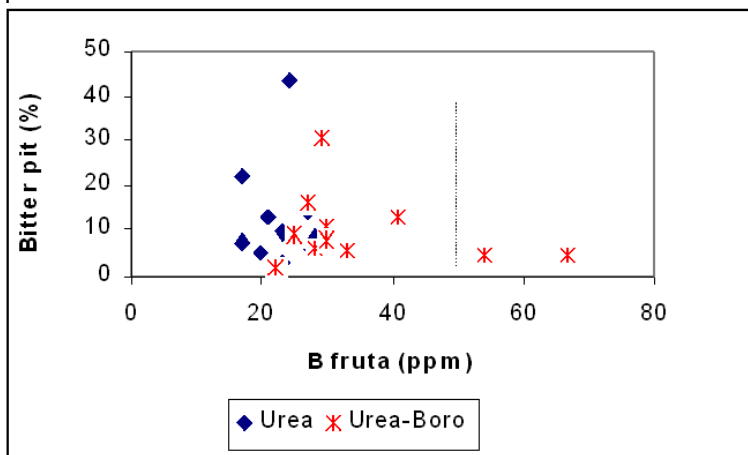


Figura 4: Relación entre concentración Boro en el fruto de diversas variedades de manzanos y la incidencia de bitter pit luego de 5 meses en almacenaje refrigerado. Granelli y Ughini, 1990.

2.7.-Diagnóstico del status de B en la planta

Los tejidos reproductivos tienen tendencia a mostrar síntomas asociados a déficit de B antes que los tejidos vegetativos. Así, los niveles de B en frutos y flores son índices más sensibles

del status de B en la planta, que el nivel en el suelo o las hojas (Cuadro 2). Por ello, las concentraciones de B en la hoja a mediados de verano y aquella del fruto a la cosecha presentan escasa correlación. Paralelamente, el análisis de suelo no refleja en buena forma el nivel de B en la planta (Fig. 5 y 6)

Pautas generales:

Niveles en el suelo: El suelo debe muestrearse separadamente a 0-15, 15-45 y 45-75 cm. La mayor parte del B debiera estar en la superficie; sin embargo, pueden haber niveles tóxicos a mayor profundidad. Se debe recalcar que existe poca relación entre el nivel de B en el suelo y aquel en la planta. Además, las pautas que se señalan no han sido evaluadas críticamente. Deficiente: Menor a 0,5 ppm; Optimo: 0,5-1,0 ppm; Alto: 1,0-2,0 ppm; Exceso: > 2,0 ppm

Cuadro 2: Niveles de boro en tejidos de pomáceas (expresados en ppm); Fuente: Peryea and Drake, 1991; Peryea, 1994

	Frutos		Hoja	Flor
	Manzano	Pera	Ambos	Pera
Deficiente	< 10	< 20	< 20	< 15
Excesivo	> 60 (Delicious)	> 45 D'Anjou	> 80	> 90 D'Anjou
	> 40 (otros cv.)	> 55 Bartlett		

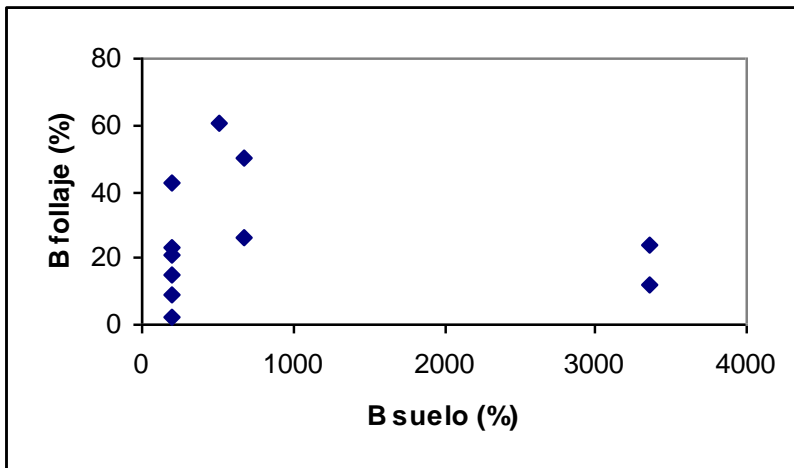


Figura 5: Relación entre B en el suelo y B en el follaje (Granelli y Ughini, 1990)

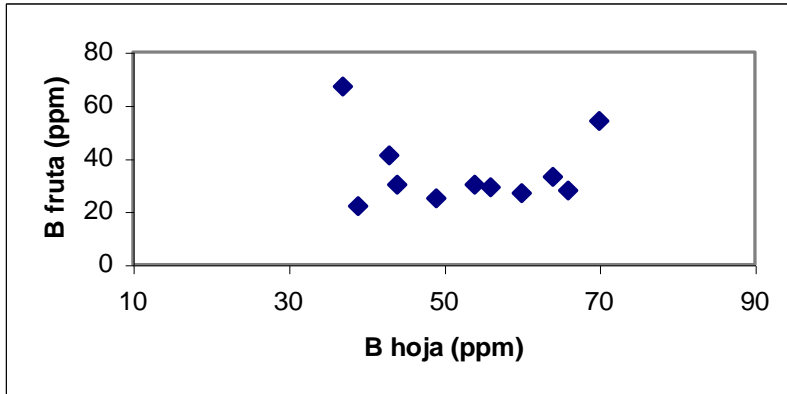


Figura 6: Relación entre B en la hoja (ppm) y B en la fruta (ppm) (Granelli y Ughini, 1990)

2.8.- Fertilización

El efecto de la fertilización con B en el rendimiento y calidad de frutales depende la forma de aplicación (suelo vs. foliar), y de diversos factores biológicos y ambientales, tales como: variedad, condición de suelo, pluviometría y temperaturas.

Se aplican boratos: ácido bórico y borato de sodio (Polybor) tanto al suelo como al follaje. En Washington se aplica B al suelo cada 3 años en dosis de 3,5 Kg de B/ha; sin embargo, ello crea fluctuaciones entre temporadas y dentro del perfil del suelo. Por ello se han probado aplicaciones foliares con buenos resultados. La aplicación foliar reduce el riesgo de exceso de B y permite solucionar en forma más rápida y eficiente deficiencias puntuales en B, especialmente en flores y frutos. Generalmente se aplican 0,3 a 3,0 Kg. B/ha antes o durante la época de floración; sin embargo, se han reportado efectos fitotóxicos al cabo de 4 días de aplicaciones de 2000 ppm de ácido bórico; igualmente, la aplicación de B con aceite mineral o cuando los árboles aún presentan residuos visibles de aceite, puede aumentar fuertemente la absorción y causar efectos nocivos. En estudios de laboratorio, se demostró que la penetración directa de boro (en forma de ácido bórico) al fruto es escasa, pues menos del 1% de lo aplicado penetró el fruto; la mayor parte de lo cual se concentró en los 2 primeros cm bajo la epidermis. Por ello, se piensa que en aplicaciones foliares en el huerto, una parte importante del B podría entrar por la cavidad calicinal o ser retranslocado desde las hojas adyacentes; en su defecto, parte del B sería absorbido por las raíces (Fig. 7).

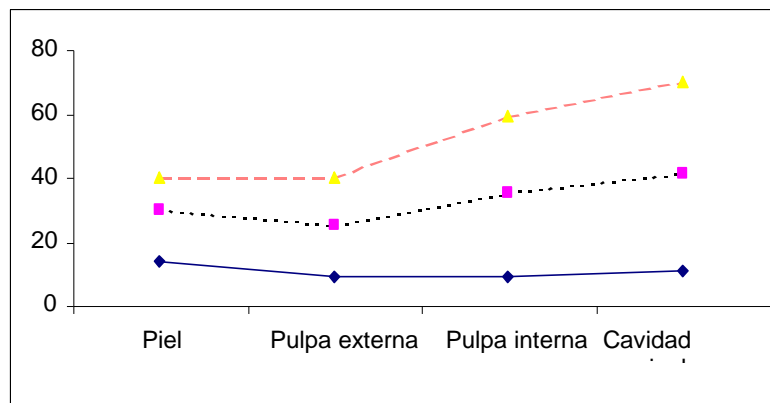


Figura 7: Distribución de B en frutos de Starking Delicious provenientes de árboles que recibieron una aplicación de B a mediados de verano (Peryea, 1994)

Las aplicaciones foliares en manzanas y peras son altamente eficientes, pues aspersiones de ácido bórico al 1% alcanzaron niveles de absorción de 88% para manzanos cv. Red Delicious y 96 % para perales cv. Bartlett; similarmente, un alto porcentaje de lo absorbido (79% en manzanos y 77 % en perales) fue exportado a tejidos vecinos (principalmente yemas y madera, aunque un 16% de lo asperjado se acumuló en los frutos), lo cual fue independiente de la edad de las hojas que recibieron la aplicación y de la distancia a los frutos. Una gran proporción de la absorción ocurrió dentro de 5 h. de la aplicación (60% en manzanos y 80% en perales); la absorción se completó dentro de las primeras 24 h. de la aplicación. La alta absorción de B permitió duplicar la concentración del elemento en manzanos dentro de 72 h de la aplicación; sin embargo, los niveles fueron similares a las plantas control (sin B adicional) al cabo de 9 días. El volumen retenido y su absorción, estuvo en directa relación con el área foliar expuesta. Las tasas de absorción del ácido bórico, son similares a las observadas para aspersiones foliares de urea, lo que se relacionaría con las características de ambos compuestos: ambos tienen similar tamaño, promueven la penetración de otras moléculas y penetran la cutícula 10-20 veces más rápido que las sustancias iónicas.

Ensayos realizados en Polonia en la variedad Elstar, compararon 2 épocas de aplicación de aspersiones foliares de ácido bórico en huertos deficientes de boro. En cada caso, se efectuaron 3 aspersiones de 0,67 Kg. B/ha en 1000 litros de agua empezando a brotación versus caída de pétalos. Los resultados señalaron que las aplicaciones en postfloración aumentaron significativamente la cuaja, el rendimiento y la concentración de Ca en frutos, redujeron la firmeza y el peso de los frutos y aceleraron la madurez de los frutos (según índice de Streif). De acuerdo a estos estudios, las aplicaciones a la brotación serían menos eficientes pues, respecto al tratamiento control, no afectaron los niveles de Ca en los frutos, ni la incidencia de bitter pit o descomposición interna, así como tampoco los rendimientos o la cuaja de frutos; este último resultado es contradictorio con otras investigaciones. El efecto más notorio de la aplicación a brotación fue un incremento en la firmeza de los frutos. El poco efecto de la aplicación a brotación se debería al escaso transporte del B exógeno, en esa época de la temporada, desde las hojas hacia las flores y frutos. Para un alto rendimiento, se requeriría altas concentraciones de B en las primeras 5-6 semanas de desarrollo del fruto, período en que ocurre la división celular; el efecto de un mayor suministro de B sobre el rendimiento sería mayor en temporadas con baja cuaja.

3.- Nutrición de Potasio en Pomáceas:

3.1.-Introducción

El potasio no se encuentra formando parte de ninguno de los compuestos orgánicos en los frutales; además, es el único catión (carga positiva) monovalente esencial para las plantas. Este elemento cumple importantes funciones en la planta al regular la condición hídrica y la activación de diversas enzimas relacionadas con la fotosíntesis y la respiración.

3.2.-Fisiología

Este catión tiene alta movilidad en la planta a todos los niveles, (dentro de células individuales, entre tejidos, y en transporte a larga distancia vía xilema y floema), pero su movilidad en el suelo es escasa. Su nivel en la planta es altamente dependiente del crecimiento de las raíces, especialmente de la presencia de raíces finas. Daños o limitaciones a la expansión del sistema radical, provocados por la compactación y sellamiento del suelo, la carga excesiva de fruta, la realización frecuente de anillado o la acción de algunas plagas (burritos, nemátodos), pueden reducir en forma importante la cantidad de K a que accede la planta, aún en condiciones de adecuados niveles de K disponible en el suelo. Por ello, en dichas ocasiones, más que incrementar el nivel de K en el suelo, deben corregirse los factores que limitan el crecimiento radical. En este sentido, se ha mostrado que debe mantenerse un adecuado suministro de boro en el suelo para optimizar la utilización de potasio. El efecto del boro, en este caso, pareciera relacionarse principalmente con su rol en favorecer el crecimiento radical que facilite la absorción de potasio.

Ensayos en la costa oeste de Canadá, mostraron que aplicación de N y P mediante fertigración a manzanos cv. "Summerland McIntosh", generó deficiencias de K al cabo de tres temporadas; se observó que el efecto era más marcado: a) con riego por goteo que con microaspersión, y b) con riegos menos frecuentes. Los autores enfatizaban la necesidad de una nutrición balanceada que incluyera, al menos N, P y K; además de mojar con mayor volumen que permitiera un mayor densidad radical.

En suelos donde se han replantado manzanas, se observó que los niveles foliares de K y el inóculo primario del nematodo de la raíz *Pratylenchus penetrans* explicaban un 75% de la variabilidad en el crecimiento de manzanos Northern Spy que habían sido replantados en un huerto. Ello señala que el daño de los nemátodos sobre el sistema radical afectó notoriamente la absorción de K por las raíces de esas plantas.

Diversos autores han señalado que la concentración de K en las hojas está afectada por el portainjerto sobre el cual esté la variedad: así, mientras se indica que MM106 es un patrón que favorece la acumulación de K en desmedro de aquellas de Ca y Mg, lo opuesto ocurre con M27. Esta relación opuesta entre las concentraciones foliares de K y Mg, ha sido establecida por diferentes investigadores en diversas condiciones agroecológicas

3.3.- Funciones

El K tiene importantes funciones dentro de la planta, tales como: estabilización del pH, regulación osmótica, activación de enzimas, síntesis de proteínas, crecimiento de las células, regulación de la apertura de los estomas y fotosíntesis.

Por muchos años se ha sabido que la deficiencia de K puede disminuir la transpiración en manzanos y otras plantas. La apertura estomática requiere acumulación de K en las células de guarda y la deficiencia de K podría inducir cierre de estomas, lo que provocaría una menor transpiración.

Por otra parte, se sabe que el potasio es importante para la expansión de las células; por ello, el crecimiento es muy sensible a la deficiencia de potasio. El crecimiento de las células requiere la formación de una gran vacuola central, que en el caso de las células de los frutos puede ocupar más de 90% del volumen de la célula. Se sabe que la expansión de las células es consecuencia de la acumulación de K dentro de las vacuolas de las células; por ello se señala que el potasio es necesario para el crecimiento de la fruta. Así, en peras se ha tenido aumento en tamaño al fertilizar huertos que tenían entre 0,7-1,0 % de K en la hoja; pero no hubo efecto cuando había más de 1% de K en el follaje antes de la aplicación.

3.4.-Aporte del Suelo

La capacidad de suministro de K varía ampliamente entre los diferentes suelos, dependiendo del material parental del cual provengan. La cantidad y tipo de arcillas en el suelo afectan tanto la capacidad de suministro como el potencial de fijación en forma no-disponible para las plantas. Las arcillas expandibles tipo 2:1 (también llamadas micáceas) son capaces de fijar K en su estructura. Para lograr adecuado suministro de K para las plantas, debe irse incrementando la fertilización al aumentarse la proporción de arcillas en el suelo.

La disponibilidad y absorción de K se restringen bajo condiciones de escasa disponibilidad de agua. Por ello, el manejo del suelo y las prácticas de riego que minimicen el estrés hídrico favorecen la absorción de potasio. Bajo condiciones de baja disponibilidad hídrica, es más común encontrar bajos niveles de K en las hojas u observar síntomas de déficit de K en los árboles, aún en huertos donde los análisis de suelo indiquen cantidades adecuadas e incluso altas de potasio.

3.5.-Demanda por la planta

Existiría una relación lineal entre la tasa de crecimiento y la absorción de K; en otras palabras, el K se absorbe según la demanda ejercida por el brote en crecimiento. Al establecer la demanda total de K por parte de un árbol, debe contemplarse el requerimiento de las hojas así como el de los frutos. Al comparar el efecto de la presencia de fruta sobre la cantidad total de K

que contiene un árbol, se observa que arboles con o sin fruta acumulan niveles similares de este elemento; pero en un árbol sin fruta, se acumula el K en las hojas y viceversa. Por ello, se señala que en frutales, la acumulación de K y la de carbohidratos siguen esquemas similares. Esa vinculación entre K y carbohidratos se manifiesta además por la frecuente asociación entre niveles de K y de materia seca soluble en los frutos. En algunos frutales de carozo (duraznos y ciruelas para secar), se ha observado que el fruto tiene tal demanda de K que las partes vegetativas del árbol sufren y muestran síntomas de déficit de K en temporadas de altas cargas frutales. En contraste con el K, muy poco Ca se mueve hacia el fruto, mientras que la distribución de P, N y Mg son intermedias. El requerimiento de potasio por parte de los frutales es casi igual al de N y Ca (Cuadro 1; Figura 7).

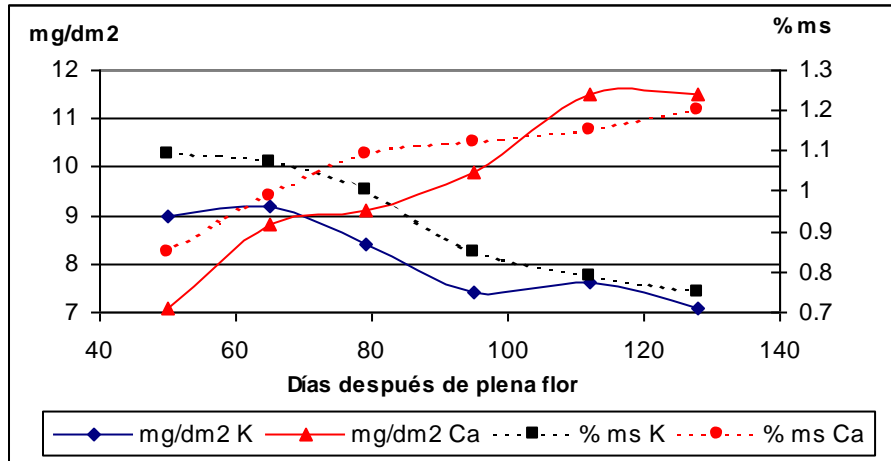


Figura 7: Flujos estacionales en la concentración mineral de K y Ca en manzanos Delicious expresados como peso seco (%) o área foliar (mg/dm²)

Al aumentar los niveles de K en el fruto, en base a peso fresco, aumentan también: peso del fruto, color y contenido de sólidos solubles (dulzor).

Las concentraciones de K en la madera frutal, van disminuyendo junto con la edad. Aún cuando se presentan fluctuaciones dentro de la temporada, estas no siguen un patrón definido; los mayores niveles se presentan poco después de plena flor, mientras los niveles más bajos se alcanzan cerca de la cosecha (probablemente por la alta remoción de potasio por los frutos).

En manzanos Granny Smith se han calculado que entre 42 y 73 kg. de K son exportados del huerto con producciones de 40 y 70 ton/ha, respectivamente. Si los restos de poda no son reincorporados al huerto, se extraen entre 4,4 y 7,2 kg. de K, para 40 y 70 ton/ha de producción. En el caso de perales, se ha estimado que un producción de 60 ton/ha, exportaría en madera de poda y fruta, un total de 64 kg. de K/ha. Estas extracciones deben ser repuestas regularmente, para evitar la generación de niveles deficitarios en la planta.

3.6.- Sintomatología de déficit o exceso

3.6.1. Síntomas de déficit en partes vegetativas: En todos los árboles frutales, el principal síntoma de déficit de K es una quemazón de las hojas. Primeramente la hoja pierde su color verde natural; luego se presenta una apariencia de saturación de agua en los tejidos y finalmente se desarrolla la necrosis. En general, la quemazón avanza desde los márgenes hacia el centro de la hoja. Con 1% foliar, las hojas no presentan síntomas, pero los frutos no colorean normalmente. Probablemente, el efecto del K sobre el color de los frutos es indirecto. Es probable que un déficit de K reduzca la tasa fotosintética de las hojas (al alterar el funcionamiento de los estomas o poros de las hojas), lo que induce menores concentraciones de azúcar; ello induciría menor color en el fruto pues se requieren altas concentraciones de azúcar para el desarrollo de color.

Aún cuando los tejidos vegetativos son menos sensibles a las deficiencias de K, el crecimiento de los árboles (medido como altura total de las plantas, largo de ramas y brotes, y diámetro del tronco), se puede ver reducido ante concentraciones deficitarias de este elemento. También se puede presentar menor largo y calidad del desarrollo de dardos y brotes. El efecto del K se atribuiría a una menor producción de carbohidratos. En plantas de huerto, dicho efecto sólo se manifiesta al existir síntomas visuales, especialmente quemazón marginal de hojas.

3.6.2. Síntomas de deficiencia en partes reproductivas: La floración es raramente afectada por una deficiencia leve, pero puede ser reducida drásticamente o eliminada a medida que la severidad de la deficiencia aumenta.

En árboles deficientes en potasio, la fruta es más pequeña, presenta un color opaco y una coloración amarillo-anaranjado antes de la cosecha; además, es más susceptible al golpe de sol y tiene un sabor insípido debido a su falta de acidez. La cuaja no parece ser afectada directamente por la deficiencia de este elemento, pero puede ser menor si hay pobre vigor general en la planta. Las yemas y flores de árboles deficientes en potasio, son más susceptibles al daño por fríos extremos en el invierno o por las heladas primaverales. La madurez de los frutos se retrasa en árboles deficientes y la fruta puede colgar de los árboles hasta avanzado el otoño. La firmeza de frutos no está relacionada en forma consistente con los niveles de potasio, parcialmente debido al aumento en tamaño y madurez de la fruta asociados a un mejoramiento del nivel de K en la planta.

3.6.3. Síntoma de exceso: Niveles excesivos de K pueden afectar negativamente la calidad de los frutos, particularmente cuando existan bajos niveles de Ca en la planta. El suministro excesivo de K al suelo, puede afectar la absorción de Mg y Ca por parte de las raíces de las plantas y provocar síntomas de deficiencia de estos elementos, por ello se recomienda balancear las aplicaciones de estos elementos minerales. Entre los síntomas, algunos autores mencionan el incremento en la incidencia de bitter pit, escaldado y descomposición interna en los frutos.

3.7.-Diagnóstico del status de K en la planta

Según diversos autores, los niveles foliares adecuados para manzano fluctúan entre 1,5-1,8% (Faust, 1989), 1,35-1,80 (Stiles, 1994); 1,2-1,5 (Reuter y Robinson, 1997); 1,1-1,5 (Bould, 1983) o 1,30 (Silva y Rodríguez, 1995). En el caso de peras, niveles adecuados alcanzan entre 1,2-2,0 % (Reuter y Robinson, 1997; Bould, 1983), 1,00 (Silva y Rodríguez, 1995). Los niveles foliares de K caen a medida que avanza la temporada, pero el grado de reducción varía de una temporada a otra; sin embargo, el nivel foliar de K, y también de P, no sería afectado por el patrón o la variedad. En el caso del K, al interpretar los datos de análisis foliar, es de gran importancia establecer la carga frutal en la temporada en que se tomaron las muestras, pues altas cargas frutales normalmente tienden a reducir la concentración foliar de este elemento; así un nivel ubicado en el límite inferior del rango puede ser adecuado si los árboles tienen alta carga, pero pueden indicar niveles inadecuados para árboles jóvenes o con baja carga. Paralelamente, los árboles jóvenes o aquellos que no están produciendo, tienen normalmente niveles más altos de K que los árboles maduros o en producción.

El nivel foliar de potasio considerado aceptable para una producción de óptima calidad depende de los niveles foliares de nitrógeno. Investigaciones realizadas en Washington (EE.UU.), señalan que para variedades del tipo McIntosh, proporciones de 1,0-1,25 N a 1,0 de K serían adecuadas; mientras que para variedades del grupo Delicious, proporciones de 1,25 a 1,50 parecerían ser satisfactorias. Estas diferencias pueden ser, al menos parcialmente, relacionadas con las eficiencias relativas de las distintas variedades en absorber y utilizar el potasio.

El análisis foliar, en conjunto con los resultados del test de suelo, sería el mejor enfoque para desarrollar programas de fertilización potásica. Sin embargo, existen dificultades en muestrear adecuadamente el suelo en toda la zona ocupada por las raíces, lo que contribuye a establecer una baja correlación entre los niveles foliares y los resultados de los test de suelos.

3.8.-Fertilización

3.8.1.- Aplicaciones al suelo: Para poder satisfacer los requerimientos de K por parte de los árboles frutales, debe primero entregarse una dosis de fertilizante que permita alcanzar un nivel suficiente en el suelo (dosis de corrección); luego debe aplicarse regularmente (a inicios de

primavera), una dosis de mantención que compense el K extraído desde el sistema, especialmente por la fruta cosechada y la madera proveniente de las podas.

El objetivo de la dosis de mantención es sostener niveles suficientes de K en el suelo. La dosis de mantención para un rendimiento de 50 toneladas por hectárea en un manzano variedad Delicious alcanza los 65 kg. K₂O/ha; al aumentar el rendimiento, aumenta la remoción de K y por ello se debe incrementar la dosis de mantención.

La incorporación de fertilizantes potásicos durante la preparación de suelo previa a la plantación, es una buena oportunidad para aportar K al suelo, particularmente a las estratas inferiores. El potasio es poco móvil en el suelo y al aplicarse superficialmente en suelos con textura fina, puede requerir varias temporadas para penetrar a las zonas inferiores de la masa radical.

La aplicación de los fertilizantes en la sobrehilera donde se controla la maleza con herbicida, aumenta la eficiencia de aplicación del potasio en huertos frutales. En algunos casos, al concentrar los materiales en bandas de aproximadamente 15 cm de ancho ubicadas a ambos lados de la hilera en el punto medio entre el tronco y la línea de goteo de los árboles, ha permitido aumentar más rápido los niveles foliares de potasio en huertos plantados en suelos de textura fina.

La aplicación de fertilizante potásico ha tenido efectos negativos sobre el desarrollo de micorrizas del tipo VAM (las cuales favorecen la absorción de micronutrientes en plantas frutales), en manzanos. La adición de Muriato de Potasio al suelo redujo significativamente la absorción de Mn, Zn y Cu: ello se debería a una menor infección de las raíces por parte de estos hongos.

Todos los fertilizantes tienen la misma forma de potasio como nutriente (K⁺); por ello su acción fertilizante es la misma. Por otra parte, todos son solubles en agua, su reacción en el suelo es neutra (excepto el nitrato de potasio, que es levemente ácida), y su acción fertilizante es muy rápida. El fertilizante de mayor consumo en los mercados internacionales (95%) es el cloruro de potasio o muriato de potasio. Por su menor costo de la unidad de K₂O, el muriato de potasio es el fertilizante normalmente aplicado en especies frutales no sensibles a cloruros, en suelos permeables y con dosis moderadas de aplicación.

3.8.2. Fertigación: La aplicación de potasio vía fertigación es una forma efectiva de suministrar este elemento. Tanto el Cloruro de Potasio como el Nitrato de Potasio, son aptos para aplicar en sistemas de riego por goteo, dependiendo de la acumulación de cloruros en el suelo o la necesidad de nitrógeno adicional. El nitrato de potasio es altamente soluble y no precipita en presencia de calcio, magnesio u otros iones que se encuentran en el agua de riego; ello asegura que no tapan los emisores de riego. Aunque hay poca evidencia de un antagonismo entre K y Ca a nivel de la fruta, a fin de evitar aplicaciones excesivas de K al fertigar continuamente con este elemento (para mantener altos niveles foliares de K), se debiera monitorear las concentraciones de Ca en la fruta, así como los cambios en las concentraciones foliares de Mg y de K extractable en la zona crítica cerca de los emisores. En la literatura se encuentran reportes contradictorios respecto a la fertigación de pomáceas, pues mientras al cabo de una temporada, la fertigación aumentó significativamente los niveles foliares y enmendó una deficiencia de K en manzanos cv. Summerland McIntosh en la costa oeste de Canadá, no ocurrió lo mismo en Israel con peras cv. Spadona, donde después de 4 años no fue posible subsanar una aparente deficiencia de potasio en la planta, aún cuando los niveles en el suelo se incrementaron significativamente, especialmente en los 0-30 cm de profundidad.

3.8.3.- Aplicaciones Foliares: Las aplicaciones foliares de nitrato de potasio o sulfato de potasio han sido usadas con éxito para suplir huertos con bajos niveles de K en el suelo; sin embargo, las cantidades de potasio requeridas para satisfacer las demandas del cultivo son similares a las que normalmente se aplican al suelo.

4.- Nutrición de Calcio en pomáceas

4.1.-Introducción

El Calcio (Ca) difiere de la mayor parte de los otros nutrientes de la planta debido a que los síntomas de deficiencia generalmente se desarrollan en partes específicas de la planta, en vez de

afectar el crecimiento general de toda la planta. Estos síntomas localizados reflejan la limitada movilidad del Ca en las plantas, las que son incapaces de transportar fácilmente el Ca desde los tejidos con adecuado Ca a aquellos con niveles deficientes (frutos). La obtención de fruta de calidad se basa en dos componentes: calidad interna (que se relaciona con el nivel de Ca y la vida de post-cosecha de la fruta) y calidad externa (afectada por el color, tamaño, forma, roces y manchas presentes en el fruto) determinada por la susceptibilidad a los desórdenes fisiológicos, resistencias a las enfermedades, ablandamientos, etc.

4.2.-Fisiología

El Calcio ha recibido, probablemente, más interés en el mundo científico que cualquier otro mineral (excepto nitrógeno), debido a sus efectos en el retraso de la maduración y senescencia de los frutos. En manzanos, muchos estudios han demostrado una mejoría en la capacidad de almacenaje y menos desórdenes a medida que aumentan las concentraciones de Ca en el fruto. El bitter pit afecta la calidad interna de los frutos, ya que este es el principal desorden fisiológico de las manzanas. Su incidencia se asocia a un déficit localizado de Ca en el fruto. El desorden se manifiesta especialmente en post-cosecha comenzando con manchas deprimidas o como ligeras depresiones en la piel. Finalmente se presenta una depresión de color parda, desecada y circular. Las depresiones pueden ser pocas, predominando en el extremo del cáliz, o numerosas, extendiéndose sobre la mayor parte del fruto. Si bien se origina mientras el fruto aún está en el árbol, los síntomas se hacen evidentes al cabo de su almacenaje o, en algunos casos, pocos días antes de completar su periodo de guarda refrigerada.

Los niveles de Ca en la fruta varían ampliamente entre temporadas, huertos, árboles y fruta en el árbol. Algunos huertos rara vez producen fruta con deficiencias de Ca, mientras que otros casi siempre lo hacen. La mayoría de los huertos tienen mucha variación de un año a otro. Esto significa que un fruticultor debe estar siempre atento a las deficiencias de Ca, nunca debe creer que el problema no existe o no se puede presentar.

En gran parte de las regiones productoras de manzanas, los niveles de Ca en el suelo (sumados al suministro en el agua de riego), serían suficientes para satisfacer los requerimientos de la planta, de esta forma el bajo nivel de Ca en los frutos no se debería tanto a un problema de suministro y/o absorción deficitaria de Ca del suelo, sino a su distribución dentro de la planta; es por esto, que las mediciones de niveles de Ca en el suelo o en partes vegetativas de la planta (Ca foliar) no son indicadores adecuados del Ca presente en frutos. Las hojas y los brotes compiten con la fruta por el Ca disponible (Cuadro 3); por ello, todo factor de manejo que tienda a generar vigor excesivo (alto N, poda severa, baja carga frutal, etc.) generalmente reduce los niveles de Ca en la fruta, y aumenta la incidencia de bitter pit. Lo anterior se debería a que la superficie de los frutos tiene mayor resistencia a la pérdida de agua que las hojas; con ello, el calcio que se mueve por la corriente transpiratoria presenta mayor tendencia a movilizarse hacia los brotes que hacia los frutos. Sumado a lo anterior está el hecho que gran parte del calcio entraría en los frutos temprano en la temporada (cuando el fruto es alimentado a través del xilema); el xilema pierde funcionalidad a medida que avanza la temporada, por ello las variedades que tienen mayor susceptibilidad al bitter pit son aquellas en las cuales el xilema deja de alimentar al fruto más temprano en la temporada (por lo que el fruto acumularía menos calcio).

Los niveles de Ca requeridos para obtener frutos de calidad son difíciles de lograr “naturalmente”, requiriéndose un manejo integral basado en la combinación de prácticas culturales y aplicaciones exógenas de Ca. En conclusión el aporte del suelo (1025 –2670 kg. Ca/ha) es mucho más mayor que la demanda por la planta (140 –190 kg. Ca/ha)

Cuadro 3: Distribución de Ca en distintos órganos de la planta (Datos en kg. de Ca/ha)

Componentes	Granny Smith (80 ton/ha)	R. Delicious (45 ton/ha)
Poda anual	16	58
Fruta	7	4
Hojas ¹	110	124
Flores y frutos caídos ¹	8	5
Total	141	191

¹ datos calculados de la materia seca de acuerdo a Batier y Rogers (1952) y concentración de Ca medida en la condición nacional (Ruiz, 1995)

4.3.-Funciones

- Entre las funciones más relevantes que cumple el Calcio en la planta, se pueden mencionar:
- Estabilización de tejidos, al intervenir en la cementación de la lamela media (pectatos de Calcio)
 - Estabilización de membranas, al formar complejos con fosfolípidos. Al igual que en la situación anterior, pero con otro tipo de enlace, el Calcio interactúa con los grupos polares de los fosfolípidos de las membranas, estabilizando su acción, manteniendo principalmente su selectividad
 - Segundo mensajero, por intermedio de la calmodulina, proteína que regula la actividad de numerosas enzimas, especialmente del tipo kinasa
 - Cofactor de enzimas, como ser peroxidasas y amilasas, permitiendo que estas mantengan su función
 - Osmoregulación celular frente a situaciones de estrés hídrico
 - División y elongación de células
 - Crecimiento del tubo polínico, permitiendo una mejor fecundación de la flor
 - Regular el envejecimiento celular, al impedir la degradación de ácidos grasos insaturados, esencial en la fluidez de membranas

4.4.-Factores que afectan suministro de Ca a frutos

4.4.1.-Suelo:

- pH suelo: Un pH de 6.2 a 6.5 es óptimo para mantener la disponibilidad de los minerales esenciales en el suelo, incluyendo al Ca. Un mayor pH (como el que existe en las zonas productoras de Chihuahua) reduce el Ca intercambiable en la solución del suelo.
- Control de malezas: El uso de herbicidas para mantener el suelo del huerto libre de malezas, aumenta la presencia de desórdenes por deficiencia de Ca, especialmente el bitter pit. Esto se debe que la existencia de una menor competencia por malezas aumenta los niveles de N en los árboles y provoca mayor crecimiento de brotes.
- Nutrición: Existe una fuerte relación entre la fertilización nitrogenada y la presencia de desórdenes debido a un déficit de Ca. El N estimula el crecimiento vegetativo y se ha demostrado que los fertilizantes amoniacales pueden reducir la absorción de Ca y su translocación y utilización de Ca en el fruto, aumentando el bitter pit.

- Riego: Para la absorción de Ca se necesita un adecuado nivel de agua en el suelo. Un estrés hídrico fuerza el agua existente en los frutos a moverse hacia las hojas, esto reduce tanto el tamaño como el nivel de Ca en ellos; debido a que el Ca se mueve con el agua dentro de la planta, cuando ésta se moviliza hacia las hojas, lleva consigo al Ca.

4.4.2.-Planta:

- Poda: La poda invernal tradicionalmente se ha usado para restringir el tamaño de los árboles; sin embargo, ella estimula el crecimiento de los brotes en la vecindad del corte de poda y puede reducir la calidad de la fruta (Cuadro 4). A diferencia de la poda invernal, la poda de verano, ha sido considerada como estimuladora de la fructificación y reductora del crecimiento vegetativo. Al aumentar la severidad de la poda invernal, se aumenta el largo de brotes y se disminuye el peso seco de estos y de las raíces. La poda de verano, en cambio, puede tener un efecto enanizante o vigorizador, dependiendo de su severidad, estado de desarrollo de la planta, condiciones nutricionales y factores ambientales, como suministro de agua y luz.

- Raleo: Desde hace mucho tiempo se ha sabido que un raleo intenso aumenta significativamente el tamaño de los frutos, favorece el crecimiento de los brotes y diluye el calcio acumulado en los frutos. Se ha observado que la fruta grande proveniente de altas cargas frutales tenían un mayor número de células, mientras que aquella fruta grande derivada de bajas cargas frutales tenían un mayor tamaño celular; las últimas (baja carga frutal) tenían más susceptibilidad al bitter pit, Efectos similares también se producen en árboles jóvenes con una baja carga frutal

- Poda raíz: La influencia de la generación de raíces nuevas en la absorción de calcio, ha sido establecida indirectamente mediante estudios de poda de raíces. La poda de raíces, realizada en ciertas oportunidades e intensidad, puede inducir a la planta a restablecer la relación copa/raíz y aumentar en manzanos y durazneros, la generación de raíces nuevas dentro de la zona en que se efectuó el corte. La poda de raíz produce menor crecimiento del brote y del área foliar; reduce también el incremento del tamaño del tronco.

4.4.3.-Fruto:

- Polinización / N° de semillas: Un alto número de semillas atrae Ca a la fruta. Además incrementa el tamaño del fruto, pero la atracción de Ca sobrepasa el efecto de dilución por tener frutos de mayor tamaño, por lo tanto el productor termina con fruta de mayor tamaño y con mayor concentración de Ca; ello implica menos desórdenes debido a deficiencias de Ca.

- Ubicación frutos: Fruta en la parte superior de los árboles tienen menores concentraciones de Ca y más bitter pit. Así, en un huerto con una parte desproporcionada de la cosecha en la zona superior del árbol, y no accesible a un muestreo fácil, los resultados de los muestreos podrían sobrestimar las concentraciones de Ca y subestimar el riesgo de bitter pit. En ciertos casos pudiera ser recomendable cosechar separadamente la fruta del sector alto del árbol.

- Epoca de cosecha: Es bien conocido que la susceptibilidad al bitter pit es afectada por la madurez de la fruta. En general, la fruta cosechada más temprano desarrolla más bitter pit que la cosechada más tarde. Este efecto puede ser evidente aún cuando las concentraciones de Ca y otros minerales en el fruto no cambien entre las cosechas tempranas y tardías.

- Almacenaje: La incidencia de bitter pit ha sido frecuentemente reducida con almacenaje de atmósfera controlada (bajo oxígeno y alto CO₂), el grado de control aumenta al establecer rápidamente, dentro de un día, las condiciones de atmósfera controlada

4.5.-Sintomatología de deficiencia o toxicidad

Existe muchos síntomas producido por la falta de Ca en los tejidos, la mayoría conocido como desórdenes fisiológicos. Entre ellos figuran el Bitter pit, ablandamiento, pardeamiento interno, etc. El déficit de Ca puede retardar la diferenciación xilemática, directamente o mediante auxinas, alterando el normal funcionamiento de la planta. Síntomas de toxicidad por Ca pueden ser relevantes, especialmente cuando afectan al fruto. Así por ejemplo, baños con sales de Caconcentrada (sobre 3%) pueden alterar las lenticelas, a causa del bajo potencial osmótico que se genera cuando la solución se va secando. Esto produce salida del agua desde el tejido adyacente a la lenticela, causando su posterior necrosis. Debe tenerse en cuenta además, el

tamaño de la apertura calicinar de cada variedad, cuando se decida aplicar este elemento en baños a altas concentraciones.

4.6.-Predicción de bitter pit

La predicción implica la capacidad de anticiparse a la ocurrencia de sucesos o fenómenos. En el caso del bitter pit, esta capacidad permitirá disminuir la incidencia del desorden y estructurar estrategias de control. Para que ello ocurra, un método predictivo debe tener los requisitos de bajo costo (tener alta relación costo/beneficio), confiable (entregar resultados valederos al ocuparse en diferentes condiciones), oportuno (resultados disponibles cuando sean útiles para la industria) y de fácil operatividad (cuadro 4). Los métodos empleados para la predicción de bitter pit son: 1.- la aceleración de la madurez con ethephon (generador de etileno), 2.- análisis mineral de frutos, 3.- largo de brotes y 4.- infiltración de frutos al vacío en sales de Mg. También se ha investigado los niveles minerales en suelo y hojas; sin embargo, por ser el Ca un elemento poco móvil dentro de la planta, se acumula en diversos tejidos, especialmente en la corteza y existe escasa o nula retraslocación entre distintos tejidos, por lo que la medición en tejidos diferentes al fruto no sería adecuada.

- Análisis mineral: Este método de predicción se basa en la vinculación entre la concentración mineral del fruto y la incidencia de bitter pit respecto a estándares que garantizarían la ausencia del desorden. Debido a que el bitter pit está asociado a un déficit localizado de Ca en el fruto, es dable esperar que éste método sea ampliamente apropiado; sin embargo, la alta variabilidad en los niveles de Ca medidos en diferentes zonas productivas, laboratorios y temporadas, junto con la dificultad de establecer la porción del fruto que está más íntimamente ligada a la incidencia de bitter pit e inexistencia de estándares nacionales determinan la baja capacidad de predicción de este método.

- Infiltración en Sales de Mg.: La infiltración de frutos con sales de Mg, se basa en la observación que el grado de incidencia del desorden aumenta con altos niveles de Mg y bajas concentraciones de Ca en los frutos. Se cree que la infiltración al vacío de frutos con Mg, desplazaría al Ca de los sitios metabólicamente activos y gatillaría procesos enzimáticos degradativos, para provocar a partir de 8-10 días después de la infiltración, síntomas equivalentes a los observados con la aparición del bitter pit luego de almacenaje. La incidencia de síntomas "tipo bitter pit", es inversamente proporcional al nivel de Ca en el fruto y directamente proporcional al intercambio de Ca por Mg entre el fruto y la solución de Mg.

Cuadro 4: Comparación de métodos de predicción. Fuente: Retamales et al., 1998

<i>Item</i>	Infiltración en Magnesio	Análisis mineral
Costo por muestra (U\$)	10 – 24	12 – 24
Operación	Usuario	Laboratorio
Parte del fruto usado	Completo	Variable
Observación síntomas	Sí	No
Capacidad predictiva	0,41 –0,87	0,12 – 0,40
Estrategia marketing	Sí	No

4.7.-Fertilización

El control eficiente del bitter pit se inicia con un adecuado conocimiento y manejo de los factores predisponentes. En este sentido, las aplicaciones de Calcio son sólo un eslabón más en la cadena de prácticas de manejo en el huerto destinadas a disminuir la incidencia del desorden. El control del bitter pit normalmente incluye un programa de aplicaciones foliares de Calcio en pre-cosecha y/o post-cosecha. La elección del tratamiento depende, en gran medida, de la variedad y grado probable de la incidencia del desorden. Una vez que la solución con la sal de Ca se ha depositado sobre la fruta, se requiere la penetración del ion Ca^{+2} a través de la epidermis de ésta y el posterior movimiento del Ca^{+2} dentro de la pulpa de la manzana.

Aplicaciones foliares en pre – cosecha:

Se ha establecido que las aplicaciones foliares de calcio en precosecha, sólo podrían reducir la incidencia del desorden hasta en un 15%; aun cuando hay autores que indican que con 5 a 10 aplicaciones cada 15 - 25 días (0,3 - 0,5 %) durante la temporada la concentración de calcio ha aumentado en más de un 30% y reducido el bitter pit hasta en 80%. Ello se debería no sólo a que el nivel de calcio es apenas uno de los factores involucrados, sino que, además, el grado de control se relaciona directamente con la llegada de calcio a los lugares requeridos; como nuestro destino es el calcio en la fruta, y la translocación posterior de calcio desde hojas a frutos es escasa o nula, se requiere que el producto aplicado en precosecha se deposite sobre esos órganos. Se ha encontrado que aplicaciones tempranas (45 días post flor) y tardías (45 días precosecha) serían las más efectivas, cumpliendo finalidades diferentes. Aplicaciones tempranas favorecerían la penetración del Ca hacia tejidos más internos del fruto, evitando desordenes fisiológicos distintos al bitter pit; la cutícula se encuentra en este periodo poco desarrollada, permitiendo su absorción. Tiene el inconveniente de que el fruto es muy pequeño y fija muy poca cantidad de solución. Aplicaciones tardías tienen la facilidad de entrar por una cutícula más resquebrajada; apunta directamente al control del bitter pit. Generalmente es más importante la cantidad de Ca aplicado que el producto usado. Existe la alternativa de aplicaciones concentradas de Ca (2,5 % CaCl_2 , 3330 lt/ha o 7,5 % CaCl_2 , 1110 lt/ha) pocos días antes de cosecha, que puede ser usadas cuando la deficiencia de Ca es importante; se ha visto que al cabo de unos días producen daño en follaje (pero no a la fruta), no existiendo efecto residual para el año siguiente

Aplicaciones en post-cosecha:

Cuando los niveles de Ca en la fruta a la cosecha son insuficientes, se puede suplementar el Ca en ellas mediante aplicaciones en post-cosecha. Para ello se puede recurrir a una inmersión o alternativamente, a una infiltración.

Inmersión: Es una forma muy eficiente de aplicar Ca a la fruta, se han reportado que inmersiones de la fruta con dosis de 3 a 4% (CaCl_2), puede aportar lo mismo que 8 aplicaciones realizadas en precosecha, llegando en frutos cv. Sturmer Pippin a concentraciones de Ca de 180 mg/kg en la epidermis. Para que estas inmersiones tengan un mejor efecto, se debe dejar actuar por 48 hrs., teniendo en consideración que diferencias en temperatura pueden aumentar la absorción de Ca. Sin embargo, este tratamiento puede ser muy tarde, provocar posible daño a la fruta y dañar los metales en las plantas de embalaje..

Infiltración de Ca al vacío o con presión: La infiltración de sales de Ca al vacío no sólo tiene efecto sobre el bitter pit, sino que además retarda la maduración, al reducir la tasa de ablandamiento y la producción de etileno. Adicionalmente, permite lavar con agua para remover el exceso de Ca en la superficie de la fruta, lo que reduce el riesgo de fitotoxicidad, así como el posible daño a los equipos de calibración. La infiltración pueden aumentar fuertemente los niveles de Ca en frutos. Al comparar los dos métodos resulta ser más efectivo en aumentar la concentración de Ca en la fruta la aplicación de presión (637 ppm) que el vacío (285 ppm). Sin embargo, el nivel de daño a la fruta para ambos métodos puede ser alto, viéndose menos afectada la fruta inmadura. Cabe hacer notar que la infiltración al vacío esta discontinuada en N. Zelanda

5.- Conclusiones:

5.1.-Aspectos generales

El objetivo de todo fruticultor es lograr producción alta y consistente de fruta de calidad. Para ello, debe considerarse que existe una fuerte interacción y dependencia entre planta y medio ambiente.

Cada huerto tiene uno o más factores deficientes que deben corregirse; la magnitud y rapidez de la corrección a realizar afectan la rentabilidad del huerto.

Debe balancearse crecimiento vegetativo y reproductivo; así como también el aéreo con el subterráneo del huerto. Algo que afecte una parte de la planta, afectará con el tiempo a los otros órganos.

La planta reparte carbohidratos y nutrientes entre distintos órganos, según su prioridad, actividad y distancia. Las raíces son las más perjudicadas en esta distribución

La absorción de elementos requiere presencia de raíces jóvenes, las que se generan principalmente a principios y fines de temporada. La falta de un nutriente afecta, de una u otra manera el funcionamiento de la planta.

La producción de fruta remueve nutrientes del huerto, especialmente potasio y nitrógeno; dichos nutrientes deben ser repuestos para evitar deficiencias.

La aplicación de nutrientes es un manejo con alta rentabilidad, pues tiene bajo costo pero alta incidencia sobre los retornos, dado su efecto sobre el rendimiento y la calidad de fruta.

5.2.-Boro:

El boro es un microelemento que se mueve por el flujo transpiratorio y una vez que alcanza un cierto órgano, presenta escasa retranslocación.

El boro presenta una función más estructural que metabólica. Los síntomas de déficit se presentan principalmente en tejidos meristemáticos (en división celular). Una de sus funciones está relacionada con el crecimiento del tubo polínico, para lo cual se requieren niveles más altos de B que en el resto de la temporada. En la planta existe un estrecho margen entre déficit y toxicidad de boro.

El aporte del suelo disminuye con $\text{pH} > 6,5$; es también bajo el suministro en suelos livianos, muy húmedos o muy secos. Los niveles en el suelo no se correlacionan bien con aquellos en la hoja o el follaje.

En condiciones deficitarias de B, se aumenta el corazón acuoso, la descomposición interna y el bitter pit.

Las aplicaciones de B al suelo vs follaje presentan efectos distintos sobre el crecimiento de la planta y las características de la fruta. La aplicación foliar de B es una forma eficiente de satisfacer los requerimientos de este elemento en pomáceas.

5.3.-Potasio:

Es un elemento con alta movilidad en la planta, pero no así en el suelo.

El nivel de K en los tejidos de la planta depende en gran medida de la capacidad de crecimiento de raíces. En muchos casos, antes que aumentar las dosis de K al suelo, se debe subsanar el o los factores que restringen el crecimiento radical.

El potasio presenta diversas e importantes funciones en la planta, entre las cuales destacan: activación de enzimas, crecimiento celular, regulación de estomas y fotosíntesis.

Los suelos arcillosos presentan menor disponibilidad de K para la absorción por las raíces.

La demanda de K depende directamente de la carga frutal; ello debe considerarse al definir la condición nutricional del cultivo.

Ante un déficit de K, se presenta clorosis y luego necrosis marginal de las hojas. Los frutos de plantas deficientes presentan menor color y peso, mayor incidencia de golpe de sol, sabor insípido, y mayor incidencia de bitter pit (especialmente si el nivel de Ca en el suelo es bajo).

Para la fertilización potásica debe considerarse una dosis de corrección, la que idealmente se debiera aplicar durante la preparación de suelo para plantar el huerto), y una de mantención, que compense el potasio exportado del huerto con la fruta y los restos de poda.

La fertigación potásica (como muriato o nitrato de potasio) es una forma efectiva y eficiente para mantener un adecuado suministro o subsanar deficiencia de este elemento.

5.4.-Calcio:

La deficiencia de elementos reduce la vida de postcosecha de los frutos. En muchas ocasiones, se trataría de una inadecuada distribución del elemento entre los diversos tejidos de la planta, antes que un aporte insuficiente desde el suelo.

Los tejidos vegetativos tienden a acumular mayor proporción del Ca en desmedro de los frutos. Las prácticas de manejo dirigidas a aumentar proporcionalmente el crecimiento vegetativo o el tamaño de los frutos, tenderán a aumentar las deficiencias de Ca a nivel de los frutos.

Los niveles de Ca varían ampliamente entre huertos, temporadas, árboles y frutos dentro de un árbol.

Entre los manejos o condiciones de suelo que reducen la acumulación de Ca por los frutos están: bajo pH del suelo, presencia de malezas, y nutrición de amonio, potasio o magnesio (especialmente temprano en la temporada).

Respecto a lo manejos de la parte aérea que reducen el Ca acumulado por frutos, están: poda invernal intensa, problemas de polinización, raleo intenso y mayor proporción de frutos en partes altas de la planta.

El Calcio, y sus desórdenes fisiológicos asociados, deben manejarse de forma integral, a través de su prevención (manejo de factores predisponentes), predicción (aviso anticipado de la incidencia de desórdenes fisiológicos) y control (aplicaciones correctivas de Ca dirigidas al fruto).

La infiltración al vacío de magnesio en frutos colectados 40 días antes de la cosecha se ha mostrado como una herramienta eficaz para predecir la incidencia de bitter pit en manzanos.

Las aplicaciones de Ca al suelo son generalmente inefectivas en corregir los déficit de este elemento en frutos. Las aplicaciones foliares, ya sea durante la temporada o una vez conocida la incidencia probable mediante predicción, son efectivas en reducir la incidencia de desórdenes asociados a déficit localizado de Ca en frutos. Las aplicaciones de postcosecha pueden usarse cuando existen condiciones de alta predisposición a desórdenes fisiológicos.

6.- Bibliografía

6.1.-Bibliografía introducción

- Atkinson, D. 1991. Plant root growth: an ecological perspective. Blackwell Scientific Public. Londres. 478 pp.
- Fallahi, E. 1995. Root physiology, development and mineral uptake. pp. 19-30. En: A. Brooke-Peterson and R. G. Stevens (eds.) Tree Fruit Nutrition: a comprehensive manual of deciduous tree fruit nutrient needs. Good Fruit Grower Pub., Yakima, Washington.
- Faust, M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. John Wiley & sons. N. York. 337 pp.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition, Academic Press, Londres, 889 pp
- Rom, C. 1995. Fruit tree growth and development. Pp. 1-18 En: A. Brooke-Peterson and R. G. Stevens (eds.) Tree Fruit Nutrition: a comprehensive manual of deciduous tree fruit nutrient needs. Good Fruit Grower Pub., Yakima, Washington.
- Sánchez, E.E. 1999. Nutrición Mineral de frutales de pepita y carozo, INTA (Argentina). 196 pp.

6.2.-Bibliografía Boro

- Blevins, D. G. and K. M. Lukaszewski. 1998. Boron in plant structure and function. Ann. Rev. Plant Phys. Plant Mol. Biol. 49: 481-500.
- Chamel, A. and A. M. Andreani. 1985. Demonstration of the penetration of boron in apple fruit using an enriched stable isotope. HortSci. 20: 907-908.
- Granelli, G. and V. Ughini. 1990. Leaf Boron contents and bitter pit in apple. Acta Hort. 274: 169-174.
- Hanson, E. J. 1991. Movement of boron out of tree fruit leaves. HortSci. 26: 271-273.
- Peryea, F. J. and S. R. Drake. 1991. Influence of mid-summer boron sprays on boron content and quality indices of "Delicious" apple. J. of Plant Nutr. 14: 825-840.
- Peryea, F. J. 1994. Boron nutrition in deciduous tree fruit. pp. 95-99 En: A. Brooke-Peterson and R. G. Stevens (eds.) Tree Fruit Nutrition: a comprehensive manual of deciduous tree fruit nutrient needs. Good Fruit Grower Pub., Yakima, Washington.
- Picchioni, G. A. and S. A. Weinbaum. 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.
- Sale, P. 1993. Boron: not too little, not too much, but just enough. The Orchardist. July: 14-16
- Stover, E., M. Fargione, R. Risio, W. Stiles, and K. Lungerman. 1999. Prebloom foliar boron, zinc, and urea applications to enhance cropping of some "Empire" and "McIntosh" apple orchards in New York. HortSci. 34: 210-214.
- Wójcik, P., G. Cielinski and A. Mika. 1999. Apple yield and fruit quality as influenced by boron applications. J. Plant Nutr. 22: 1365-1377.

6.3.-Bibliografía potasio

- Bould, C. 1983. Methods of diagnosing nutrient disorders in plants. pp. 111-136. En: Diagnosis of mineral disorders in plants. ADAS-ARC, Londres.
- Bramlage, W., M. Drake and W. J. Lord. 1980. The influence of mineral nutrition on the quality and storage performance of pome fruits grown in North America. pp. 29-39. En: Mineral nutrition of fruit trees. D. Atkinson, J. E. Jackson, R. O. Sharples, and W. M. Waller (eds.) Butterwoths, Londres.
- Fallahi, E. and B. Simons. 1996. Interrelations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in "Delicious" apples. J. of Tree Fruit Prod. 1: 15-25
- Faust, M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. John Wiley and sons. . N. York. 337 pp.
- Klein, I. A. Meimon and D. Skedi. 1999. Drip nitrogen, phosphorus, and potassium fertigation of "Spadona" pear. J. Plant Nutr. 22: 489-499.

- Ludwick, A. E. 1995. Phosphorus and potassium fertilizer sources. pp. 79-82. En: A. Brooke-Peterson and R. G. Stevens (eds.) *Tree Fruit Nutrition: a comprehensive manual of deciduous tree fruit nutrient needs*. Good Fruit Grower Pub., Yakima, Washington.
- Merwin, I. A. and W. C. Stiles. 1989. Root-lesion nematodes, potassium deficiency, and prior cover crops as factors in apple replant disease. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 724-728.
- Neilsen, G., P. Parchomchuk, M. Meheriuk and D. Neilsen. 1998. Development and correction of K-deficiency in drip-irrigated apple. *HortSci.* 33: 258-261.
- Neilsen, G., P. Parchomchuk, and R. Berard. 1995. NP fertigation and irrigation affect potassium nutrition of newly planted apple trees. *Acta Hort.* 383: 57-65.
- Noé, N., T. Eccher, R. Stainer and D. Porro. 1995. Influence of nitrogen, potassium and magnesium fertilization on fruit quality and storage potential of Golden Delicious apples. *Acta Hort.* 439-447.
- Nurzynski, J. M. Kepka, A. Komosa, G. Kozera, and M. Wesolowska-Janczarek. 1990. Seasonal changes of N, P, K, Ca and Mg content in apple tree leaves during vegetation period. *Acta Hort* 274: 365-373.
- Reuter, D. J. and J. B. Robinson. 1997. *Plant analysis: an interpretation manual*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, 572 pp.
- Runjin, L. And L. Xinshu. 1990. Effects of Vesicular-Arbuscular micorrizas and potassium on apple seedlings. *Acta Hort.* 274: 297-302.
- Silva, H. y J. Rodríguez. 1995. *Fertilización de plantaciones frutales*. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica. 519 pp.
- Sadowski, A. F. Lenz, G. Engel and M. Kepka. 1995. Effect of fruit load on leaf nutrient content of apple trees. *Acta Hort.* 383: 67-71.
- Stanisavljevic, M. 1992. Dynamics of mineral nutrients in the bearing wood of differing age in some apple cultivars: dynamics of macronutrients. *Jusl. Vocar.* 26: 31-41
- Stiles, W. C. 1995. Phosphorus, potassium, magnesium, and sulfur soil management. pp. 63-69. En: A. Brooke-Peterson and R. G. Stevens (eds.) *Tree Fruit Nutrition: a comprehensive manual of deciduous tree fruit nutrient needs*. Good Fruit Grower Pub., Yakima, Washington.
- Tagliavini, M., D. Scudellari, B. Marangoni, A. Bastianel, F. Frazini and M. Zamborlini. 1992. Leaf mineral composition of apple tree: sampling date and effects of cultivar and rootstock. *J. Plant Nutr.* 15: 605-619.

6.4.-Bibliografía calcio

- Autio, W. R., W. J. Bramlage and S. A. Weis. 1986. Predicting poststorage disorders of 'Cox's Orange Pippin' and 'Bramley's Seedling' apples by regression equations. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(5): 738-742.
- Bangerth, F. 1979. Calcium-related physiological disorders of plants. *Ann. Rev. Phytopathology* 17: 97-122.
- Berger, H. y Galletti, L. 1994. Bitter pit y escaldado: ¿son un problema aún?. *Aconex* 46: 30-32.
- Bramlage, W. J. 1995a. Calcio y desórdenes fisiológicos. pp: 73-81. En: *Symposium Internacional. Calcio en Fruticultura*. J. A. Yuri y J. B. Retamales (eds.). Universidad de Talca.
- Burmeister, D.M. and Dilley, D.R. 1994. Correlation of bitter pit on Northern Spy apples with bitter pit-like symptoms induced by Mg²⁺ salt infiltration. *Postharvest Biol. And Techn.*, 4: 301-307.
- Cline, J., Hanson, E., Bramlage, W., Cline R. and Kushad, M. 1991. Calcium accumulation in Delicious apple fruit. *J. Plant. Nutr.* 14: 1213-1222.
- Cline, J. and Hanson, E. 1992. Relative humidity around apple fruit influences its accumulation of calcium. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 542-546
- Cooper, T. and F. Bangerth, 1976. The effect of Ca and Mg treatments on the physiology, chemical composition and bitter pit development of Cox's Orange apples. *Sci. Hort.*, 5: 49-57.
- Davenport, J. R. and F. J. Peryea. 1990. Whole fruit mineral composition and quality of harvested 'Delicious' apples. *J. Plant Nutr.* 13(6): 701-711.
- DeLong, W. A. 1936. Variations in the chief ash constituents of apples affected with blotchy cork. *Plant Physiol.* 11: 453-456.

- Eksteen, G. J., L. Ginsburg and T. R. Visage, 1977. Post-harvest prediction of bitter pit. *The Deciduous Fruit Grower*, 27(1): 16-20.
- Fallahi, E. and B. Simons. 1996. Interrelation among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in 'Delicious' apples. *J. Tree Fruit Prod.* 1(1): 15-25
- Ferguson, I. B. and C. B. Watkins. 1989. Bitter pit in apple fruit. *Hort. Reviews.* 2: 289-355.
- Ferguson, I.B. and Triggs, C.M. 1990. Sampling factors affecting the use of mineral analysis of apples fruit for the prediction of bitter pit. *N.Z.J. of Crop and Hort. Sci.* 18: 147-152.
- Gajardo, P. 1996. Métodos de predicción de bitter pit en tres cultivares de manzano. Tesis Ing. Agr. Universidad de Talca. 66 pp.
- Garman, P. and W.T. Mathis. 1956. Studies of mineral balance as related to occurrence of Baldwin spot in Connecticut. Connecticut Experiment Station Bulletin 601.
- Gallerani, G., G. C. Pratella, P. Bertoloni and A. Marchi. 1990. Lack of relationship between total calcium of apples fruit and a calcium deficiency-related disorder (bitter pit): a four year report. *Acta Hort.* 274: 141-148.
- Gatti, R., A. König, E. Vacarezza, and P. Yañez. 1986. Diagnóstico de la calidad de manzanas. *Revista Frutícola.* 3: 103-107.
- Gatti, R. 1985. Importancia del calcio en la calidad de las manzanas. *Revista Frutícola* 1: 9-11.
- Gil, G. 1997. El potencial productivo. Crecimiento vegetativo y diseño de huertos y viñedos. Edición Universidad Católica de Chile. pp:341.
- Hanson, E. J. 1995. Movimiento y distribución del calcio en la planta. pp: 37-45. En: *Symposium Internacional Calcio en Fruticultura.* J. A. Yuri y J. B. Retamales (eds.) Universidad de Talca.
- Hopfinger, J. A; B. W. Poovaiah and M. E. Patterson. 1984. Calcium and magnesium interactions in browning of Golden Delicious apples with bitter pit. *Sci. Hort.* 23: 345-351.
- Hepler, P. K. 2005. Calcium: A central regulator of plant growth and development. *Plant Cell* 17: 2142-2155.
- Jones, H. and K. Higgs. 1982. Surface conductance and water balance of developing apple (*Malus pumila* Mill.) fruit. *J. Expt. Bot.* 33: 67-77.
- Jones, H.G., Lakso, A.N. and Syvertsen J.P. 1985. Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit trees. *Hort. Rev.* 7:301-344.
- Korban, S. S. and J. M. Swiader 1984. Genetic and nutritional status in bitter pit-resistant and susceptible apple seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109(3): 428-432.
- Llanos, J.L. 1993. Predicción de bitter pit en manzanos Granny Smith. Tesis Ing. Agr. Universidad de Talca. 61 pp.
- Marcelle, R. D. 1990. Predicting storage quality from preharvest fruit mineral analysis, a review. *Acta Hort.* 274:305-313.
- Perring, M. A. 1986. Incidence of bitter pit in relation to the calcium content of apples: problems and paradoxes, a review. *J. Sci. Food Agric.* 37: 591-606.
- Retamales, J. B., C. Moggia y J. A. Yuri. 1993. Control y predicción de bitter pit en manzano. pp:169-195. En: *Avances recientes en nutrición de plantas frutales y vides.* M. P. Bañados y S. Santiago, (eds.). Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Retamales, J.B., Valdes, C.M. y Donoso V. 1998. Análisis del uso masivo de la infiltración de frutos con magnesio para predecir bitter pit en manzanos. Pp: 77-87. En: *Congreso Chileno de la Manzana.* J.B. Retamales y C.M. Valdes (eds). Universidad de Talca.
- Retamales, J. B., C. Valdes, D. R. Dille, L. León and V. P. Lepe. 2000. Bitter pit prediction in apples through Mg infiltration. *Acta Hort.* 512: 169-179.
- Romoli, M. 1960. El bitter pit en manzanos. I Congreso de la manzana chilena. *Angol. Bol. Especial* N° 10.
- Ruiz, R. 1995. Calcio: disponibilidad en el suelo y su absorción por la planta. pp: 1-24. En: *Symposium Internacional Calcio en Fruticultura.* J.A. Yuri y J. B. Retamales (eds.) Universidad de Talca.
- Slowik, K. 1979. Effects of environmental and cultural practices on calcium. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 295-302
- Terblanche, J. H., L. G. Woolridge, I. Hesebeck and M. Joubert. 1979. The distribution and immobilisation of calcium in apples trees with special reference to bitter pit. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.*, 10:195-215.

- Terblanche, J. H. 1981. An integrated approach to orchard nutrition and bitter pit control. *The Deciduous Fruit Grower*. 31 (12): 501-513.
- Tomala, W., W. Myga, and J. Kobylinska. 1993. Attempts at predicting storage ability of apples. *Acta Hort.* 326: 149-156.
- Valdes, C.M. 1997. Predicción de bitter pit por medio de infiltración de frutos en sales de magnesio y determinación del largo del brote. Tesis Ing. Agr. Universidad de Talca. 56 pp.
- Van Der Boon, J. 1980. Prediction and control of bitter pit in apples. I. Prediction based on mineral leaf composition, cropping levels and summer temperatures. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 55:307-312.
- Wiersum, L.K. 1979. Effects of environment and cultural practices on calcium nutrition. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 259-278.
- Zurita, P. 1994. Efecto de diferentes formulaciones de calcio aplicadas en forma temprana y tardía, sobre la incidencia de bitter pit en frutos de manzanos cv. Granny Smith. Tesis Ing. Agr., Universidad de Talca. 68 pp.