

Capítulo 2

Tomate

Juan Martínez C.

Ingeniero Agrónomo Dr.
jpmartinez@inia.cl

Luis Salinas P.

Ingeniero Agrónomo
luis.salinas@inia.cl

Karen Farías G.

Ingeniero Agrónomo
grollmuskaren@gmail.com

Carlos Blanco M.

Ingeniero Agrónomo Magíster
cblanco@inia.cl

Nutrición y fertilización en tomate injertado

Introducción

En general el tomate fresco cultivado, bajo condiciones de invernadero, está siendo injertado para prevenir plagas y enfermedades. El cultivo de tomate injertado se caracteriza por presentar alta demanda de nutrientes, por poseer potenciales productivos más altos en comparación al tomate franco (no injertado). Esto conlleva a tener una estrategia de fertilización diferente en comparación al tomate fresco no injertado. Un adecuado programa de manejo nutricional, es efectivo solo cuando hay un claro entendimiento del rol de los nutrientes esenciales para la planta.

Consecuentemente, por estar el crecimiento y desarrollo de los cultivos estrechamente vinculados a una adecuada nutrición mineral, el conocimiento de la extracción que realiza la planta de estos elementos en el suelo, representa una información básica para el diseño y planificación de la fertilización de los cultivos (Betancourt y Pierre, 2013), la cual se detalla en este capítulo. El uso de portainjertos en tomate según Villasana (2010) y Godoy *et al.* (2009) implica un sistema de raíces más vigoroso y activo que tiene la capacidad de absorber una

mayor cantidad de nutrientes (nitrógeno); por tanto, los niveles descritos para una planta franca son distintos a los encontrados en una planta injertada. Por lo tanto, la fertilización en tomate (franco o injertado) se basa en la aplicación de macronutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y micronutrientes como boro, hierro y zinc. Los suelos donde se desarrolla el cultivo de tomate son de pH neutro a ligeramente alcalino (7 a 8), y en algunos de ellos presentan problemas de acumulación de sales.

Estas limitaciones deben ser bien manejadas ya que afecta notablemente el rendimiento y calidad de la fruta. Dentro de los tópicos que aborda este capítulo esta la importancia de la nutrición en tomate, la descripción de las patologías de deficiencias y toxicidades que afectan este cultivo, los criterios para un oportuno y adecuado diagnóstico, y las correcciones nutricionales (dosis, época, etc.) a través de fertilización.

Nutrición en tomate

El propósito de cualquier programa de nutrición mineral en tomate es suministrar los elementos minerales o nutrientes que son absorbidos por la planta en la dosis y momento oportuno para optimizar su utilización. El tomate, como cualquier planta, requiere elementos nutritivos imprescindibles o esenciales, aquellos que no deben faltar para el funcionamiento fisiológico y el desarrollo completo del ciclo vegetativo. Los criterios de esencialidad de un elemento nutritivo más relevante son: la deficiencia del elemento impide a la planta completar su ciclo vegetativo, la deficiencia es exclusiva del elemento en cuestión, y la falta del elemento no puede ser reemplazada por otro.

Son 17 los elementos considerados esenciales para el crecimiento y producción de todas las especies cultivadas incluidos los tomates. Los tres elementos esenciales con mayor requerimiento por parte de la biomasa del cultivo de tomate (raíces, tallo, hojas y fruta) son el carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O).

Estos elementos representan el 90% de la materia seca de la planta. De ellos, el C es suministrado desde la atmósfera, el cual es transformado en carbohidratos a través del proceso de la fotosíntesis. El H y el O son proporcionados por el agua. De los nutrientes minerales esenciales para la planta se distinguen los de mayor requerimiento y se encuentran en mayor proporción en ella, denominados macro-nutrientes (Marschner, 2012). Entre los macro-nutrientes se consideran nitrógeno (N), potasio (K), Calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y azufre (S).

Aquellos elementos esenciales requeridos en menor proporción en la planta, se denominan micro-nutrientes (Marschner, 2012). Se consideran como micro-nutrientes (o elementos minerales traza) los siguientes: zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), hierro (Fe), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y, últimamente, pero sin importancia práctica, el níquel (Ni).

Este criterio para diferenciar los nutrientes puede llevar a confusiones, ya que en casos de extremo déficit, un micro-nutriente puede adquirir más relevancia que un macro-nutriente. La necesidad de agregar vía fertilización algunos de los 14 elementos minerales esenciales, surge si el balance entre lo que el cultivo requiere y lo que el suelo suministra es insuficiente. Este déficit nutricional se acentúa en casos cuando el nutriente es poco móvil y no logra llegar al sitio estratégico de acción tales como yemas, flores o frutos recién cuajados. En uno u otro caso será necesario reponer la diferencia vía fertilización al suelo o foliar.

Los análisis químicos del agua y del suelo son importantes en el programa nutricional, los cuales determinan la capacidad para suministrar nutrientes a la planta y con base a una adecuada interpretación, se pueden diagnosticar los aportes, las deficiencias y/o toxicidades de cada nutriente. Por lo tanto, estas consideraciones son un paso esencial para la formulación de recomendaciones de manejo nutricional de cualquier cultivo (Sepúlveda *et al.*, 2012). En el caso de la nutrición del cultivo de tomate, se pone en manifiesto que los períodos de mayor consumo nutricional, y una mayor acumulación de biomasa en la planta, se asocia también con una extracción mayor de nutrientes. En este sentido, se plantea que con el inicio del cuajado y crecimiento de los frutos comienzan a aumentar también las necesidades de nutrientes de la planta y, en consecuencia, cualquier déficit de algún elemento repercutirá de manera negativa en el crecimiento y rendimiento del tomate (Hernández *et al.*, 2009).

En las primeras etapas de crecimiento de la planta de tomate, las hojas y el tallo son los órganos que más materia seca acumulan en la planta, y en las etapas finales del cultivo los mayores aportes corresponden a las hojas y al fruto (Betancourt y Pierre, 2013). Importante destacar que autores como Villasana (2010) y Godoy *et al.* (2009) y, Sánchez-Rodríguez *et al.*, (2013) trabajaron en la nutrición del cultivo, estudiando las extracciones de nutrientes en plantas injertadas. Los datos obtenidos en estas investigaciones muestran que los cultivos incompatibles tienen menor rendimiento con respecto a una planta franca, produciendo un marchitamiento en las hojas, debido a un déficit hídrico, producido por la baja conductividad hidráulica del xilema.

En caso contrario en donde exista una compatibilidad las plantas injertadas presentaron mayor vigor que se refleja en un incremento de 9% en acumulación de materia seca y en una mayor acumulación de todos los macronutrientes, excepto para Mg. Debido a las bondades del injerto, los objetivos a cumplir se han ido ampliando (Lee, 2003; Oda, 2007), entre ellos se cita mayor absorción de nutrimentos y contenido mineral en la parte aérea, el incremento en el vigor de la planta y la vida de postcosecha de la fruta.

En la **Tabla 1** se presenta el contenido de N (%), P (%), K (%), Ca (%) y Mg (%) en fruto, hoja y tallo en plantas de tomate injertado bajo condiciones de invernadero en INIA-La Cruz. Esta tabla muestra que las plantas injertadas utilizadas presentan valores de contenido de macronutrientes mayores que plantas francas estudio realizado por Godoy *et al.* (2009), en especial en los valores de contenido de K.

Se debe ser riguroso en la nutrición del cultivo de tomate si es injertado o no, el cual permite evitar excesos de fertilizante y ser así más eficiente en la aplicación de nutrientes al cultivo. Por lo tanto, el conocer el comportamiento nutricional que tienen las variedades injertadas puede ayudar para la elaboración de un programa de fertilización óptimo (Rivero *et al.*, 2003) y, podría tener un efecto en la calidad del fruto, evitando un crecimiento excesivo de la planta (Lee, 2003; Oda, 2007).

Tabla 1. Contenido de N (%), P (%), K (%), Ca (%) y Mg (%) en fruto, hoja y tallo en plantas de tomate injertado bajo condiciones de invernadero en INIA-La Cruz.

Portainjerto	Estructura	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Amstrong	fruto	2,64	0,42	4,72	0,26	0,19
	hoja	3,26	0,39	3,62	4,71	1,04
	tallo	1,60	0,41	4,21	1,55	0,43
Arazi	fruto	2,69	0,43	4,99	0,25	0,19
	hoja	3,02	0,46	3,24	5,06	1,34
	tallo	1,57	0,41	4,18	1,46	0,56
Emperador	fruto	2,58	0,41	4,78	0,25	0,18
	hoja	3,07	0,40	3,33	4,97	1,20
	tallo	1,59	0,41	3,83	1,52	0,45
Maxifort	fruto	2,57	0,42	4,81	0,25	0,17
	hoja	3,08	0,40	2,98	4,81	1,26
	tallo	1,57	0,39	3,79	1,44	0,48

Sintomatologías de deficiencias y excesos nutricionales en tomate fresco

Sintomatología visual en macronutrientes

La sintomatología que se presenta en el cultivo de tomate resulta ser una buena guía para identificar tanto deficiencias como excesos nutricionales. Sin embargo como toda herramienta biológica tiene limitaciones para su uso, entre las cuales esta: a) semejanza visual en algunas deficiencias en el estado incipiente; b) síntomas que difieren si se trata de hojas nuevas o adultas; c) similitud visual entre una toxicidad y una deficiencia específica; d) existen casos en que coexisten varias deficiencias y/o toxicidades simultáneamente; y e) presencia de clorosis, amarillez, necrosis u otros síntomas originados por problemas de falta de aireación o mal drenaje, o plagas y enfermedades parecidos a los producidos por problemas nutricionales.

Sintomatologías macro-nutrientes

- **Nitrógeno.** El nitrógeno (N) es un constituyente base de la materia viva (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, pigmentos fotosintéticos, nucleótidos, ATP, etc.) que está estrechamente relacionado con el vigor de la planta (Marschner, 2012). La deficiencia de N en tomate produce una reducción rápida en el crecimiento de la planta, de las hojas y de los frutos, así como un debilitamiento de la planta y una disminución en su productividad (Adams *et al.*, 1978). Además, la deficiencia de N, produce hojas de color amarillo generalizado a nivel de toda la planta siendo acentuada en hojas viejas (Xu *et al.*, 2011). Se debe considerar que el cultivo de tomate presenta una respuesta rápida a la aplicación de N, incrementando así el crecimiento y el rendimiento de la parte aérea, e incluso con excesos podría tener un efecto negativo sobre la productividad y la calidad de la fruta (Adams *et al.*, 1978).
- **Fósforo.** El fósforo (P) es importante ya que juega un rol central en la transferencia de energía, entre otras funciones. El P juega un rol muy importante en el crecimiento y desarrollo de raíces de la planta, generando un sistema radicular vigoroso. La deficiencia de P produce efectos negativos sobre los estados tempranos de la división celular generando síntomas iniciales en reducción de crecimiento produciendo plantas más débiles y de menor ta-

maño. Como el P es un elemento móvil en la planta y puede ser transportado a sitios de crecimiento nuevo, causa síntomas como coloraciones oscuras a verde azuladas en las hojas más viejas de algunas plantas. La falta de P puede causar el retardo de la maduración y desarrollo pobre de semillas y frutos (Uchida, 2000). En el caso del tomate produce un incremento del contenido de antocianinas en las hojas y venas (Besford, 1980). Sin embargo, esto podría ser no muy consistente ya que el color púrpura también puede ser estimulado por el incremento de la intensidad luminosa e inhibido por plantas de tomates expuestas a altas temperaturas (Ulrychova y Sosnová, 1970).

- **Potasio.** El potasio (K) es el soluto inorgánico más importante en la planta (principal catión del xilema) que juega un rol esencial en la regulación hídrica de ella (regulación estomática), transporte de azúcares y activación de al menos 60 enzimas. La falta de este elemento produce una reducción de la altura de planta y área foliar, como también una clorosis intervenal (White, 1938; Adams *et al.*, 1978), lo cual es perjudicial para la productividad y calidad de la fruta. El K es el nutriente más importante que afecta la calidad de la fruta Winsor y Long, 1967; Adams *et al.*, 1978). Entre el 60–66% del K absorbido por la planta se encuentra en la fruta (Winsor *et al.*, 1958). La deficiencia de este elemento reduce la cuaja, el número de frutas por racimo y el peso por fruta (Clarke, 1944). Además, la deficiencia produce frutas insípidas (sin sabor) y carente de acidez (Hewitt, 1944), áreas verdes y amarillas que emergen en el color rojo de la superficie de la fruta (Wallace, 1951), una maduración desuniforme (Hewitt, 1944), manchas “vitreas” (Seaton y Gray, 1936). Se ha observado que aumentos de niveles de K en tomate: mejora la forma de la fruta (Winsor y Long, 1968), reduce la incidencia de desórdenes de maduración (Bewley y White, 1926; Adams *et al.*, 1978), reduce la proporción de fruta hueca (Winsor, 1966), mejora la firmeza de la fruta (Shafshak y Winsor, 1964) y mejora el sabor por aumento de la acidez (Davis y Winsor, 1967).
- **Calcio.** El calcio (Ca) es el constituyente de la membrana celular de los tejidos de la planta y juega un rol esencial para asegurar su integridad, estabilidad y funcionamiento fisiológico a nivel de dicha membrana (permeabilidad). Además, el Ca cumple un rol estructural en las paredes celulares de las plantas, teniendo un efecto sobre la firmeza (Hanger, 1979). La deficiencia de Ca produce muerte de meristemas apicales y márgenes foliares, clorosis de hojas jóvenes, y un agrandamiento y coloración verde oscuro de las hojas maduras (Kalra, 1956). Se ha observado también que la firmeza del fruto de

tomate aumenta cuando se incrementa la concentración de Ca en el medio de cultivo (Hamson, 1952). El Ca también juega un papel esencial en la defensa de las plantas contra las enfermedades, mantenimiento de la integridad de la membrana, señalización de múltiples vías de defensa a través de la activación de enzimas; lanzamiento de la fitoalexina, un agente antimicrobiano, reparación y refuerzo de membranas dañadas y paredes celulares, y síntesis de barreras estructurales (McLaughlin y Tansley, 1999). La deficiencia de Ca en plantas, específicamente en tomate, incrementa la respiración y la senescencia de la planta, como también podría reducir la pos cosecha de la fruta. Además, la deficiencia de Ca en el cultivo de tomate podría acentuar desórdenes fisiológicos como el "Blossom-End Rot" (Taylor y Locascio, 2004).

- **Magnesio.** El magnesio (Mg) es el elemento central de la clorofila, la cual juega un rol esencial en la fotosíntesis, siendo una de las funciones más importante para la planta (Marschner, 2012). El déficit de Mg es muy común en suelos de pH alcalino, mostrando clorosis intervenal en hojas basales y medias de la planta. Esta deficiencia puede ser acentuada con excesos en fertilización de N y K de acuerdo a lo reportado por Adams *et al.* (1978). En casos más avanzados aparece necrosis marginal e intervenal, afectando negativamente el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate. El nivel límite descrito para empezar a manifestar la sintomatología de deficiencia de Mg es 0,3%, acentuándose con contenidos inferiores (Ward y Miller, 1969).

Sintomatología de déficit de micro-nutrientes

La disponibilidad de los micro-nutrientes en el suelo depende principalmente del pH de suelo. Algunos de los suelos donde se cultiva el tomate, como aquellos de la provincia de Quillota en la Región de Valparaíso, presentan pH alcalinos (Hardessen, 2012), lo que provoca una restricción en la disponibilidad de estos elementos. Los micro-nutrientes que presentan una menor disponibilidad en la zona de cultivo del tomate en Chile son hierro (Fe), zinc (Zn) y boro (B). Su baja disponibilidad en el suelo está asociada a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Los micronutrientes más relevantes para el cultivo de tomate en Chile se presentan a continuación:

- **Hierro.** La deficiencia de hierro (Fe) en tomate produce clorosis en hojas nuevas, crecimiento retardado, cambios en las actividades enzimáticas y en los contenidos de los compuestos orgánicos del tejido, tales como, ácido

ribonucleico, proteínas, sustancias fenólicas y compuestos nitrogenados solubles (Bisht, 2002). El síntoma en hojas más jóvenes se debe a que la translocación del Fe es lenta o nula desde las hojas más viejas. Los frutos de tomate provenientes de plantas deficientes en Fe son más pequeños, maduran a un color amarillo pálido con bajo licopeno y acidez titulable (Bisht, 2002). Estudios de suelo realizados por INIA en la región de Valparaíso muestran que suelos de Quillota presentan un pH elevado (pH 8), lo que podría estar produciendo una deficiencia de este elemento y una menor productividad en este cultivo (Hardessen, 2012).

- **Zinc.** La deficiencia de Zn es una deficiencia común de micronutrientes en las plantas y causa severas reducciones en el crecimiento (Tsui, 1948; Kaya y Higgs, 2001), la productividad y calidad de la fruta (Kösesakal y Ünal, 2009). La deficiencia de Zn es muy común en tomate y se presenta con una sintomatología típica (moteado intervenal) que difiere si se trata de hojas nuevas o más viejas. Es característico una formación de los brotes en roseta con las primeras hojas pequeñas, cloróticas con moteado intervenal y necrosis marginal; y brotes con entre-nudos cortos. Frecuentemente el déficit de Zn se presenta en conjunto con el de Fe.
- **Boro.** El boro (B) es un micronutriente en el que la cantidad debe manejarse cuidadosamente ya que el margen entre deficiencia y toxicidad es muy estrecho. El déficit de B produce una reducción del crecimiento (Gupta, 1983) y una sintomatología visual similar a lo que se denomina “escoba de bruja” en ápice terminal (observaciones realizadas por los autores a 25 ppm en condiciones de invernadero en INIA-La Cruz). El nivel crítico foliar en tomate es de 30 ppm, con valores inferiores se estaría en deficiencia de este elemento. La deficiencia de B también produce un aumento muy significativo en el contenido de flavonoides, siendo las flavonas las que se acumulan con mayor importancia (Carpene *et al.*, 1982).

Requerimiento nutricional en tomate injertado

La estrategia recomendada para el cálculo de fertilización del tomate, se basa fundamentalmente en conocer el requerimiento nutricional (extracción de nu-

trientes) por parte de la fruta y biomasa vegetativa aérea. Un adecuado programa de manejo nutricional sólo se puede hacer cuando hay una comprensión clara del rol de todos los nutrientes.

Consecuentemente, por estar el crecimiento de los cultivos estrechamente vinculado a una adecuada nutrición mineral, el conocimiento de la extracción que realiza la planta de estos elementos en el suelo, se convierte en una información básica para el diseño y planificación de la fertilización de los cultivos. Por ejemplo, Tjalling (2006) muestra en la tabla 2 el requerimiento de nutrientes por tonelada de fruta producida de tomate no injertado, es decir, franca.

Por otra parte, el uso de portainjertos en tomate según Villasana (2010), Godoy *et al.* (2009) implica un sistema de raíces más vigoroso y activo, lo que le podría conferir una mejor capacidad de absorber nutrientes en relación a una planta franca. En la **Tabla 2** se muestran también los requerimiento de nutrientes por tonelada de fruta producida de tomate variedad patrón injertado con portainjertos comerciales Amstrong, Arazi, Emperador y Maxifort bajo condiciones de invernadero en INIA-La Cruz.

En términos de extracción mineral Tjalling (2006) determinó que los coeficientes de extracción de nutrientes de kilogramos de fruta por tonelada producida (kg/ton) del tomate en invernadero fueron: 2,2; 0,5; 3,9; 1,6 y 0,4 para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Tabla 2. Requerimiento de nutrientes por tonelada de fruta producida de tomate franco e injertada bajo condiciones de invernadero en INIA-La Cruz.

	N (kg/ton)	P (kg/ton)	K (kg/ton)	Ca (kg/ton)	Mg (kg/ton)
Franco referencia (*)	2,2	0,5	3,9	1,6	0,4
Injertadas (**)	2,6	0,4	4,3	2,3	0,6
Amstrong	2,6	0,4	4,3	2,8	0,5
Arazi	2,6	0,5	4,3	2,2	0,7
Emperador	2,7	0,4	4,5	2,5	0,6
Maxifort	2,5	0,4	4,2	1,9	0,5

(*) Planta no injertada (franca) de referencia, Tjalling (2006).

(**) Promedio de plantas injertadas de experimento INIA-La Cruz.

Fertilización en tomate franco e injertado

Fertilización nitrogenada

Dosis de nitrógeno¹. De acuerdo a estudios como Tjalling (2006), el requerimiento de nutrientes por tonelada de fruta producida de tomate franco e injertado son de alrededor de 2,2 y 2,6 kg de N/ton (**Tabla 2**) respectivamente. Este valor incluye la biomasa vegetativa (tallos y hojas). Los cálculos están basados en el llamado Modelo de Stanford (1973), ampliamente aplicado y de éxito en los rubros en que se ha aplicado en el país.

$$\text{Dosis fertilización} = \frac{\text{Extracción de cultivo} - \text{Aporte suelo}}{\text{Eficiencia (\%)}}$$

El cálculo de dosis² se realiza de la siguiente manera teniendo en cuenta:

- a) En la **Tabla 3** se muestran diferentes requerimientos para tres niveles productivos de tomate franco e injertado. Para un nivel productivo de 160 ton/ha para planta injertada se calcula de acuerdo a lo siguiente:

Requerimiento neto de N para 160 ton: 2,6 kg N/ton x 160 ton/ha = 416 kg/ha

Tabla 3. Requerimiento neto (kg/ha) para tres rendimientos (ton/ha).

Rendimiento (ton/ha)	Requerimiento neto N (kg/ha)	
	Franco referencia	Injertadas
80	176	208
120	264	312
160	352	416

- b) El aporte de N por parte del suelo va a depender principalmente del contenido mineral de N que se obtiene del análisis de suelo (N disponible para la planta: nitratos + amonio).

¹ Esto representa solo un ejemplo de cómo calcular la dosis de N en tomate injertado debido a la gran dispersión en el contenido de N encontrada en los suelos de los productores que cultivan tomate.

² Para el análisis de cálculo de dosis no se considerará el calcio, debido a que se sabe que en tomate la disponibilidad en el suelo de este mineral no se encuentra en déficit. Para el caso del magnesio, su disponibilidad dependerá del pH del suelo. El déficit de este mineral se da mayormente en suelos de tipo alcalino como los de la Comuna de Quillota.

Aporte N estimado por parte del suelo = 56 Kg/ha. Este valor de aporte proviene de la extracción de N de testigos sin fertilizar con N (suelo indicó 28 ppm de N mineral³), el cual sería estimado multiplicando la concentración por dos (28 mg/kg x 2). Esto es así ya que 28 mg/kg considerando 1 ha, la cual pesa alrededor de 2000 ton que contiene aproximadamente 56 kgs.

- c) Saldo a cubrir: Requerimiento cultivo - aporte del suelo = 416 kg/ha - 56 kg/ha = 360 kg/ha
- d) Dosis referencia de N: saldo a cubrir / eficiencia recuperación (80% para suelos de la Región de Valparaíso): 360/0,8= **450 kg N/ha**.

De acuerdo al nivel productivo se pueden estimar dosis (kg/ha) aproximadas que debería aplicar para un suelo con disponibilidad media de N (**Tabla 3**). Por lo tanto, si se asume una eficiencia del 80% para el N aplicado vía riego localizado, las dosis de acuerdo al rendimiento esperado se muestran en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Dosis de nitrógeno (kg/ha) para tres rendimientos (ton/ha).

Rendimiento (ton/ha)	Dosis de N (kg/ha)	
	Franco referencia	Injertadas
80	150	190
120	260	320
160	370	450

Estos datos son referenciales que pueden modificarse de acuerdo a apreciaciones del vigor, productividad y calidad de la fruta a la cosecha y almacenaje, complementado con los análisis foliares.

Es importante considerar que los cálculos presentados son referenciales y pueden ser modificados de acuerdo, principalmente, al tipo de suelo en el cual se hará la aplicación y el aporte que reciba éste, a partir de la fertilización del año anterior y enmiendas orgánicas (compost, residuos vegetales, guanos); como los aportes pueden presentar valores altos, intermedios o bajos dependiendo del manejo, el requerimiento se modifica. Asimismo, el cálculo consideró para esta estimación una eficiencia de aplicación de nitrógeno del 80%, la cual puede aumentar en sistemas productivos con un óptimo manejo del riego.

³ Este valor corresponde a un contenido de disponibilidad de nitrógeno medio de un suelo agrícola obtenido del análisis de suelo.

Épocas de aplicación del nitrógeno

El ciclo de cultivo del tomate tiene una duración de alrededor de 130 días después del trasplante (DDT), es decir desde trasplante hasta el final de la cosecha. Este período se compone de cuatro etapas sincronizadas con las distintas etapas fenológicas del cultivo, las cuales son:

- 1) 0 - 46 DDT → trasplante, establecimiento y desarrollo.
- 2) 47 - 96 DDT → Iniciación floral a formación de fruto.
- 3) 97 - 109 DDT → formación de fruto a inicio de cosecha.
- 4) 110 - 130 DDT → inicio a fin de cosecha.

Se recomienda parcializar la aplicación de fertilizantes y abonos orgánicos nitrogenados (estimada en 450 kg de N/ha) en la temporada, calculado para una producción de 160 ton/ha y un nivel medio de N (28 mg/kg) según análisis de suelo, considerar un 15% fertilización de base (68 kg N/ha) y el resto durante el cultivo (85%), en los porcentajes que se muestra en el **Tabla 5**.

La recomendación es parcializar la aplicación anual del N (estimada en 450 kg de N/ha) de acuerdo a lo indicado en el **Tabla 5**. En la primera aplicación, 15% del requerimiento (fertilización base) puede

contener el fertilizante más amonio que nitrato, pero las próximas aplicaciones deben contener más nitrato que amonio. Se debe aplicar alrededor de 55-65% del nitrógeno total hasta el inicio de floración a formación de fruto (46 -96 DDT), el resto debe ser aplicado después en aplicaciones parciales.

En cuanto a fuentes de fertilizante nitrogenado estas van a depender del pH del suelo. En general, en suelo con pH superiores a 7 conviene la aplicación de urea sola o en mezclas con fertilizantes nítricos o de nitratos de amonio. Si el pH es menor de 6 como ocurre en áreas de cerros puede ser conveniente utilizar mayor proporción de nitratos de calcio o potasio o mezclas de ambos. Nitrato de calcio utilizado temprano, preplantación puede contribuir al transporte de Ca hacia el fruto.

Tabla 5. Parcialización de la aplicación de fertilización y enmiendas nitrogenadas en la temporada para tomate injertado.

Período de aplicación	% de la dosis de referencia	kg N /ha
0 - 46 DDT	14	63
47 -96 DDT	34	153
97 - 109 DDT	29	130
110 - 130 DDT	8	36

En el caso de suelos de texturas gruesas o de muy alta permeabilidad conviene incrementar el número de aplicaciones, como utilizar fertilizantes nitrogenados de entrega controlada.

Fertilización fosfatada

La fertilización con fósforo (P) se utiliza con el objetivo principal de aumentar el desarrollo de raíces así como también para todas las funciones a nivel fisiológico de la planta de tomate. Este mineral se encuentra abundante en gran parte de los suelos de la zona en donde se cultiva tomate en Chile. Sin embargo, es un mineral de baja movilidad en el suelo, y ocasionalmente aparecen niveles deficitarios de P en tomates. Es por ello que se debe realizar aplicaciones de fósforo lo más cerca posible al sistema radicular, considerando reponer el volumen absorbido por el cultivo en cada temporada.

Dosis de fósforo⁴

El requerimiento neto de fósforo (P) para un cultivo de tomate injertado se estima multiplicando el coeficiente de extracción P (0,4 kg P/ton) por las toneladas de fruta producida para una planta de tomate injertada

- a) Requerimiento neto de P para 160 ton/ha: $160 \text{ ton} \times 0,4 \text{ kg/ton} = 64 \text{ kg P/ha}$
- b) Aporte suelo estimado = 16 kg/ha (el análisis de suelo indicó 32 mg/kg de P-Olsen= medio⁵). Este valor se obtiene dividiendo las ppm de P-Olsen por 2.
- c) Saldo a cubrir: Requerimiento cultivo - aporte suelo= $64 \text{ kg P/ha} - 16 \text{ kg/ha} = 48 \text{ Kg P/ha}$
- d) Dosis de referencia de P = Saldo a cubrir / Eficiencia recup. (33%) = $48 \text{ kg P} / 0,33 = 146 \text{ Kg de P/ha}$
- e) Conversión a P_2O_5 : P a aplicar x factor conversión= $146 \text{ kg de P/ha} \times 2,3 = 335 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$.

⁴ Esto representa sólo un ejemplo de cómo calcular la dosis de fósforo en tomate injertado, pero hay que considerar que en general existe una dispersión en el contenido de P encontrada en los suelos de los productores de la Comuna área de Quillota. Particularmente, los valores, mostrados en la tabla 6 son válidos para un suelo de 32 mg/ kg P Olsen.

⁵ Este valor corresponde a un contenido de disponibilidad de fósforo Olsen medio de un suelo agrícola obtenido del análisis de suelo.

En la **Tabla 6** se muestra el requerimiento neto de P y dosis de fósforo (kg/ha) para distintos niveles productivos.

Tabla 6. Requerimiento neto y dosis de fosforo (P, P₂O₅) (kg/ha) para tres rendimientos en tomate injertado (tón/ha).

Rendimiento (ton/ha)	Requerimiento neto P (kg/ha)	Dosis de P (kg/ha)	Dosis de P ₂ O ₅ (kg/ha)
80	32	48	110
120	48	97	223
160	64	146	335

Estos cálculos son referenciales, ya que varían según la cantidad de ppm de P-Olsen que entregue el análisis de suelo, que para los escenarios de la tabla 6 fue 32 mg/kg, con lo cual se modificaría el aporte del suelo. En cuanto a las fuentes de fósforo, se puede recomendar los fosfatos monoamónicos (MAP) y el ácido fosfórico, dado que en estas formas el fósforo aplicado presenta una mejor recuperación por parte del cultivo (eficiencia y solubilidad).

Estos fertilizantes presentan una mayor movilidad en la zona de raíces. Es recomendable informarse sobre que fuente de P es la que incluyen los fertilizantes que se aplicarán, si es en base a fosfato diamónico, el P es de muy baja eficiencia en suelos neutros y alcalinos. Estos cálculos también dependen del desarrollo de raíces, ya que este nutriente es absorbido por contacto directo entre las raíces y este mineral. Variedades de tomate con un desarrollo de raíces más vigoroso serán más eficientes en la absorción de P.

Épocas de aplicación del fósforo

En un ciclo de cultivo del tomate, el fósforo se debería aplicar parcializado dentro de las primeras tres etapas del cultivo, que va desde el momento del trasplante hasta el inicio de la cosecha.

- 1) 0 - 46 DDT → trasplante, establecimiento y desarrollo.
- 2) 47 - 96 DDT → Iniciación floral a formación de fruto.
- 3) 97 - 109 DDT → formación de fruto a inicio de cosecha.

Se recomienda parcializar la aplicación del P (estimada en 335 kg de P_2O_5 /ha) en la temporada calculado para una producción de 160 ton/ha de la siguiente manera: considerar un 33 % fertilización de base (111 kg P_2O_5 /ha) y el resto durante el cultivo, en los porcentajes de la **Tabla 7**.

Tabla 7. Período, porcentaje (%) de la aplicación y kg de P_2O_5 /ha a suministrar en la temporada para tomate injertado.

Periodo aplicación Días después de trasplante (DDT)	% de la dosis de referencia	kg P_2O_5 /ha
0 - 46 DDT	25	84
47 -96 DDT	21	70
97 - 109 DDT	21	70

Se podría recomendar una aplicación foliar de fósforo durante la floración en combinación con boro y zinc.

Fertilización potásica

La cifra de extracción de potasio (K) por la planta injertada es la más alta de todos los nutrientes, con 4,3 kg de K/ton de fruta producida (**Tabla 2**). Cabe señalar que el potasio se considera como el catión más importante, ya que actúa regulando el turgor de la planta y el crecimiento del fruto. Sin embargo, este nutriente es antagonista del Ca con respecto a la movilidad hacia la fruta, por lo cual se debe aplicar correctamente ya que, un exceso de potasio en la fertilización, afectaría negativamente en los contenidos de Ca en la fruta, produciendo problemas en postcosecha.

Dosis de potasio⁶

El requerimiento neto de K (fruta + biomasa vegetativa) se calcula multiplicando el requerimiento de extracción de este elemento por la fruta producida. El coeficiente de extracción de K es de 4,3 kg/ton. para tomate injertado.

⁶ Esto representa solo un ejemplo de cómo calcular la dosis de potasio en tomate injertado debido a la gran dispersión en el contenido de éste elemento en los suelos de los productores de tomate de las comunas de Quillota y Limache.

- a) Requerimiento neto K para 160 ton = 160 ton x 4,3 kg/ton = 688 kg de K/ha
- b) Aporte suelo estimado = 225 kg K/ha (si el análisis de suelo indica 225 ppm de K disponible = alto).
- c) Saldo a cubrir = Requerimiento neto - Aporte suelo = 688 kg K/ha - 225 kg/ha = 463 kg K/ha
- d) Dosis de referencia de K = saldo a cubrir/Eficiencia recuperación (70%) = 463 kg/ha/0,70= 661 kg K/ha
- e) Conversión a K₂O: dosis K x factor conversión = 661 kg K/ha X 1,2 = 793 kg de K₂O/ha.

En la **Tabla 8** se muestra el requerimiento neto por parte de la planta y la dosis de K (kg K₂O/ha) para tres niveles productivos del cultivo bajo condiciones de invernadero⁷.

Tabla 8. Requerimiento neto y dosis de potasio (K) (kg K₂O/ha) para tres rendimientos en tomates injertados.

Rendimiento (ton/ha)	Requerimiento neto K (kg/ha)	Dosis de K (kg/ha)	Dosis de K ₂ O (kg/ha)
80	344	170	204
120	516	416	499
160	688	661	793

Épocas de aplicación del potasio

El potasio, por su importancia en la regulación hídrica dentro de la planta, está presente en todo el ciclo productivo de la planta, concentrando las aplicaciones en el período de mayor demanda por la fruta, esto en los períodos desde inicio de cuaja hasta inicio de cosecha.

Se sugiere parcializar la aplicación de enmiendas potásicas (K) (estimada en 793 kg de K₂O/ha) en la temporada, calculado para una producción de 160 ton/ha en tomate injertado de acuerdo a los siguientes porcentajes (%) que se muestran en la **Tabla 9**.

⁷ Por ejemplo, si el análisis de suelo arroja un valor de 225 ppm, la dosis de K₂O a suministrar para un rendimiento 160 ton sería 793 kg/ha (o 793 gr/m²).

Tabla 9. Porcentaje (%) de la aplicación y kg de K₂O/ha a suministrar en la temporada para un ciclo productivo de tomate injertado.

Periodo aplicación	% de la dosis de referencia	kg K ₂ O /ha
0 - 46 DDT	12	95
47 - 96 DDT	37	293
97 - 109 DDT	36	286
110 - 130 DDT	15	119

En la primera aplicación se puede usar una mezcla de 55% nitrato de potasio y 45% sulfato de potasio, pero en las próximas aplicaciones la fuente de potasio preferida es nitrato de potasio perlado o granulado.

Se debe aplicar cerca de un 40 a un 50 % del total de potasio hasta la iniciación de floración a formación del fruto, el resto debe ser aplicado después en aplicaciones parciales.

Aplicaciones de Ca, Mg y S y algunos micronutrientes

El Ca debe ser aplicado como nitrato de calcio durante todas las etapas de crecimiento de la planta. Una cantidad pequeña puede ser incluida en la aplicación base, seguida por cantidades mayores durante el crecimiento vegetativo y desarrollo de la fruta. Algo de magnesio podría ser incluido en la aplicación base, seguido por dosis más altas durante las fases de crecimiento vegetativo y formación de fruta, como sulfato de Mg. El S se puede aplicar a través de sulfato en la aplicación base. Los micronutrientes se deben aplicar de acuerdo a los requerimientos del cultivo, y en general dependen de las condiciones de pH del suelo. Si el pH del suelo fuera elevado se debe decidir que fuente de microelementos es la más adecuada (quelato o sal) para ser usado. Por ejemplo, si hay deficiencia de B se puede agregar vía suelo (ácido bórico) y/o aplicaciones por vía foliar, para restablecer los niveles óptimos en hoja.