



CropKit

Guía de Manejo
Nutrición Vegetal de Especialidad

Tomate



Harmen Tjalling Holwerda (M.Sc.)



Me gustaría agradecer a todos mis colegas de SQM y YARA, como también a las siguientes organizaciones para haber proporcionado excelentes fotografías y figuras:

Applied Plant Research, Naaldwijk (NL):

Figuras n° 12, 41, 42, 44-48, 51-61, 64-65.

De Ruiter Seeds, Bergschenhoek (NL):

Figura en cubierta, Figuras en páginas 2, 6, 44 y 74 y Figuras n° 1, 2, 3, 4, 5, 6, 25 y 32.

University of Adelaide, (Australia): Figura 50.

YARA (Noruega): Figuras 14 y 35.

Harmen Tjalling Holwerda



Prólogo

SQM es uno de los proveedores más importantes de nutrición vegetal de especialidad (NVE) y de servicios relacionados con distribuidores y productores alrededor del mundo.

Como parte de su compromiso a la comunidad agrícola, la compañía ha desarrollado una serie completa de **Crop Kits**. Cada Crop Kit es un Manual o Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad, una presentación en PowerPoint y un CD con fotografías pertinentes.

Estas guías recopilan los resultados de años de investigación y actividades de desarrollo, así como las experiencias prácticas de los especialistas de la compañía alrededor del mundo, para proporcionar una completa información sobre el **Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad** a los distribuidores de SQM, agrónomos, productores y agricultores.

Esta **Guía de Manejo Nutricional de Tomate** resume los requisitos principales del mercado y el manejo de las necesidades de nutrientes para producir altos rendimientos de calidad de tomates frescos y procesados.

Existe mayor información disponible a través de los agrónomos de SQM o mediante la alianza de SQM con YARA. SQM reconoce que no existe ninguna guía universal en la producción de tomate, por lo tanto en esta guía no se incluye ningún programa detallado de nutrición vegetal. Sin embargo, trabajando en conjunto con su agrónomo local usted puede estar seguro de lograr excelentes rendimientos en el cultivo de tomate. Para obtener programas para áreas específicas consulte a su distribuidor local o agrónomo de SQM.

Esta guía, la que se ha desarrollado con el completo apoyo de los mejores expertos en nutrición vegetal de especialidad del mundo, es parte de un amplio rango de **Guías de Nutrición Vegetal de Especialidad** disponibles.



Esta Guía Nutricional de Tomate en particular, ha sido producida en estrecha cooperación con nuestro socio YARA.



Índice

Introducción	6
1 Estado nutricional del cultivo en relación a su comportamiento	7
2 Descripción del cultivo de tomate	8
2.1 Nombre botánico y variedades	8
2.2 Producción global	11
2.3 Clima	13
2.3.1 Temperatura	13
2.3.2 Luz	14
2.4 Agua y suelo	15
2.4.1 Agua	15
2.4.2 Suelo	17
2.5 Materia orgánica y estiércol	19
2.6 Salinidad	20
2.7 Fenología	21
2.7.1 Variedades indeterminadas y determinadas	21
2.7.2 Etapas fenológicas	23
2.8 Madurez uniforme	25
2.9 Desórdenes fisiológicos	26
2.9.1 Bufado (Puffiness, hollowness o boxiness)	26
2.9.2 Russetting (marcas en el fruto)	27
2.9.3 Marca de cicatriz de antera	27
2.9.4 Catfacing (cara de gato)	28
2.10 Pestes y enfermedades	28
2.11 Parámetros de calidad para el mercado fresco e industrial de tomate	29
2.11.1 Parámetros de calidad para el mercado fresco del tomate	29
2.11.2 Parámetros de calidad para la industria de pasta concentrada de tomate	30
2.11.3 Parámetros de calidad para la industria del tomate sin piel y rebanado	30
3 El rol de los nutrientes con énfasis en el potasio y calcio	31
3.1 Potasio	31
3.1.1 Potasio para la calidad y producción	31
3.1.2 Aumentos de niveles de potasio en tomate	33
3.2 Calcio para plantas fuertes	33
3.3 Problemas principales en el crecimiento del tomate respecto a la falta de potasio y calcio	35

3.4	Resumen de los roles principales de los nutrientes	36
4	Guía de información que facilita manejo nutricional	37
4.1	Nutrición de tomate cultivado al aire libre	37
4.1.1	Curvas de absorción de nutrientes de tomate cultivado al aire libre	37
4.1.2	Manejo del nitrógeno en tomate al aire libre	39
4.1.3	Manejo del nitrógeno para el tomate industrial	40
4.2	Nutrición de tomate en invernadero	40
5	Galería de fotos de desequilibrios por deficiencias y/o excesos nutricionales	45
6	Características de los productos de NVE con respecto a la efectividad en la rectificación de desequilibrios nutricionales	55
6.1	Selección de fertilizantes	55
6.2	Nutrición vegetal de especialidad por nutriente	56
6.2.1	Nitrógeno	56
6.2.1.1	Urea	56
6.2.1.2	Amonio	56
6.2.1.3	Nitrato	57
6.2.1.4	Nitrato versus sulfato y cloruro en tomate	58
6.2.1.5	Productos de nutrición vegetal de especialidad que contienen nitrógeno	59
6.2.2	Fósforo	60
6.2.3	Potasio	61
6.2.4	Calcio	61
6.2.5	Cloruro	62
6.2.6	Magnesio	62
6.2.7	Azufre	63
6.2.8	Fertilizantes NPK solubles y granulados	63
6.2.9	Resumen de los fertilizantes solubles y granulados más usados con macro y con micro-nutrientes	63
6.2.10	Micro-elementos	65
7	Prácticas y programas efectivos de nutrición vegetal	66
8	Resultados de la investigación que demuestran la necesidad del equilibrio	71
9	Efectividad probada de costos de programas de nutrición balanceados	78
10	Bibliografía	81



Introducción

El objetivo de esta Guía de Manejo de Nutrición de Tomate es la de proporcionar una información completa sobre el manejo de la nutrición de este cultivo a los socios comerciales de SQM tales como a la industria del tomate, distribuidores, agrónomos y productores.

El Capítulo 1 describe cómo el manejo nutricional en tomate puede optimizar el comportamiento de la planta (rendimiento y calidad) así generar un máximo ingreso económico para el agricultor.

Una descripción general del cultivo se entrega en el Capítulo 2, seguido por una visión global del rol de los nutrientes con énfasis en potasio y calcio, en el Capítulo 3.

El Capítulo 4 presenta una pauta de datos para facilitar el manejo de los nutrientes. Se incluye, en el Capítulo 5, una galería de fotos de desequilibrios por deficiencias y/o excesos nutricionales. Las características de los productos de Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE) con respecto a efectividad de rectificación de desequilibrio (Capítulo 6) forma la base para las prácticas de nutrición de la planta y de los programas efectivos (Capítulo 7). Los resultados de investigación, respaldados con antecedentes científicos, mostrados en el Capítulo 8, demuestran la necesidad de equilibrio nutricional.

El Capítulo 9 resume los resultados económicos de las demostraciones de campos de SQM, donde un programa tradicional de nutrición de tomate (programa nutricional del agricultor) se compara con un programa de nutrición balanceado (formulado por SQM). Las demostraciones de tomate se llevaron a cabo tanto en invernaderos como en campo, para el mercado fresco y para la industria.

El Capítulo 10 presenta la revisión Bibliográfica.



1 Estado Nutricional del Cultivo en Relación a su Comportamiento

Este capítulo describe cómo el manejo nutricional del tomate puede perfeccionar el comportamiento de las plantas (rendimiento y calidad), y así generar un máximo ingreso económico para el productor.

La nutrición balanceada de la planta significa el ofrecimiento de todos los nutrientes esenciales en proporciones bien balanceadas y en las cantidades correctas, siguiendo la curva de crecimiento de la planta para optimizar su potencial. El comportamiento de la planta, en términos de generación de ingresos económicos, está íntimamente relacionado con la sanidad de la planta, por lo cual el balance de los niveles nutritivos en los variados tejidos en cada fase de crecimiento de la planta, es un factor determinante para esa sanidad. En caso de desequilibrio, ocurrirá una reducción en el comportamiento potencial, con respecto tanto a deficiencia (desequilibrio por deficiencia) y exceso (desequilibrio por exceso).

Como resultado de la remoción general de nutrientes minerales del lugar de producción, vía cosecha, lixiviación y escurrimiento con el agua, generalmente se requiere reabastecer nutrientes. Así, el manejo del estado nutricional generalmente trae consigo el suministro de nutrientes minerales en proporciones correctas y en momentos oportunos.

Un programa ideal de fertilización debiera tener en cuenta, un perfecto estado nutricional balanceado, tanto en los aspectos de contenido y momento de aplicación. Para facilitar el manejo balanceado de nutrientes, se pueden usar guías de información obtenidas de investigación específica. Esta información puede ser por medio de normas de contenido de nutrientes en la hoja, muestras de hojas en etapas específicas y adoptando un método particular de muestreo. La incorporación de nutrientes, en términos cuantitativos y relativos, ocurre en varias partes de la planta a medida que crece y se desarrolla (curvas de absorción de nutrientes). Esto también puede servir como información valiosa para mantener el balance. También son útiles las propiedades del suelo y su estado nutricional. El uso de guías de información debe ser tal que provenga de plantas de comportamiento superior.

Los fertilizantes, tanto aplicados a las partes aéreas de la planta como al suelo, se deben considerar como herramientas de nutrición balanceada. Se debe tener en cuenta que los fertilizantes difieren considerablemente en su habilidad de mantener el estado nutricional balanceado, y por supuesto, algunos son más efectivos que otros.

La generación de ingresos económicos se relaciona con el rendimiento y calidad. La calidad es definida por el mercado objetivo y está relacionada con los atributos requerido por el comprador. Cada balance nutricional tiene una relación de calidad/rendimiento (ingreso) en términos cuantitativos. Las pautas de información deben ser provenientes de plantas de comportamiento superior, en términos de generación de ingresos económicos, los que están en función de los requisitos del mercado objetivo y el rendimiento.

2 Descripción del Cultivo de Tomate

Este capítulo describe el cultivo de tomate con respecto a: la familia botánica y variedades, producción mundial y estadísticas del cultivo, clima (temperatura y luz), agua y suelo, materia orgánica y estiércol, salinidad, fenología, madurez uniforme, desórdenes fisiológicos, plagas y enfermedades, y parámetros de calidad para el mercado fresco e industrial. Esta información debe conducir a una óptima comprensión del cultivo de tomate en general y ayudará a tomar decisiones de manejo nutricional apropiadas.

2.1 Nombre Botánico y Variedades

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pertenece a la familia de las Solanaceae.

El tomate se vende como tomate individual o como tomate racimo. El tomate varía en forma:

cherry, cocktail, ciruela, redondo y el tomate bife, son los que normalmente se encuentra en el mercado (Figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6).



Figura 1. Tomate bife
Geronimo.

Fuente: De Ruiter Seeds.



Figura 2. Tomate redondo individual
Toronto.

Fuente: De Ruiter Seeds.



Figura 3. Tomate cherry suelto Favorita.
Fuente: De Ruiter Seeds.



Figura 4. Tomate cocktail ciruela Flavorino.
Fuente: De Ruiter Seeds.



Figura 5. Tomate cocktail racimo Picolino.
Fuente: De Ruiter Seeds.



Figura 6. Tomate racimo amarillo Locarno.
Fuente: De Ruiter Seeds.



Los tomates varían en tamaño del tipo cherry y ciruela con dos divisiones del ovario (lóculos), a grandes tipo bife que tienen seis o más lóculos (Figura 7).

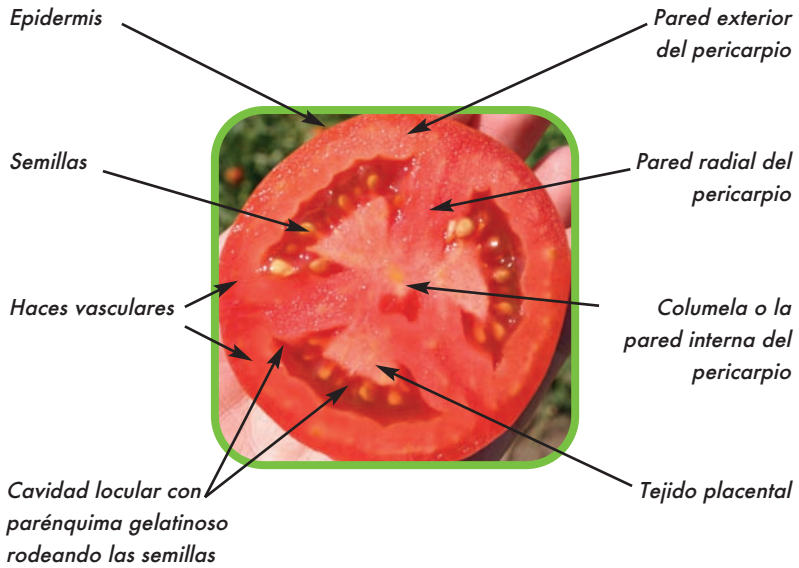


Figura 7. Corte transversal del tomate.
Arriba: Tomate con 3 secciones.
Abajo: Tomate con 6 secciones.

2.2 Producción Global

Se usa aproximadamente 75% de la producción global de tomate para el consumo fresco, mientras que el 25% es para propósitos industriales (ej. pasta concentrada, ketchup, salsas, tomate pelado y rebanado).

Son cinco los países responsables del 56% de la producción mundial de tomate (Cuadro 1) y del 55% del área cosechada (Cuadro 2): China, India, Turquía, Egipto y EE.UU. China produce 26% del volumen mundial para el consumo fresco, EE.UU. (principalmente California) produce el 35% del volumen mundial para la industria (Cuadro 3).

Cuadro 1. Visión de los países/áreas de mayor producción de tomate, su producción (millones ton) y su proporción relativa en el mercado (PM) de la producción global de tomate (%).

Posición	País/Área	Producción (millones ton)	PM (%)
1	China	30,1	26
2	EE.UU.	12,4	11
3	Turquía	8,0	7
4	India	7,6	7
5	Egipto	6,8	6
	Subtotal 1-5	64,9	56
	Resto del mundo	50,0	44
	Total del Mundo	114,9	100

Fuente: FAOSTAT data, 2004.

Cuadro 2. Visión de los mayores países productores de tomate, su área cosechada (1.000 ha) y su proporción relativa en el mercado (PM) del área cosechada mundial (%).

Posición	País/Área	Área Cosechada (1.000 ha)	PM (%)
1	China	1.255	29
2	India	540	13
3	Turquía	220	5
4	Egipto	191	4
5	EE.UU.	176	4
	Subtotal 1-5	2.382	55
	Resto del mundo	1.925	45
	Total del Mundo	4.307	100

Fuente: FAOSTAT data, 2004.



Cuadro 3. Visión de los mayores países productores de tomate para propósito industrial, su volumen (millones ton) y su proporción relativa en el mercado (PM) mundial (%).

Posición	País/Area	Producción para la Industria (millones ton)	PM (%)
1	EE.UU.	10,0	35
	California	9,4	33
	Resto de EE.UU.	0,6	2
2	Italia	4,8	17
	Norte (50% pasta)	2,4	8
	Sur (50% sin piel)	2,4	8
3	España	1,4	5
4	Turquía	1,3	5
5	China	1,2	4
Subtotal 1-5		18,7	65
Resto del mundo		10,1	35
Total del Mundo		28,8	100

Fuente: Baseado en las cifras de AMITOM 2001/2002 (promedios de 1999-2001) + 2003 update report AMITOM.

En el Cuadro 4 se resume la producción de tomate por sistema de cultivo y los rangos típicos de rendimiento.

Cuadro 4. Tipo de sistema de cultivo y rango típico de rendimiento (ton/ha) obtenido en cada sistema.

Sistema de Cultivo	Rendimiento (ton/ha)
Promedio mundial (FAOSTAT data, 2004)	27
Campo abierto con riego por lluvia	50-70
Campo abierto con riego por goteo	80-150
Invernadero sin calefacción (ciclo de 9 meses)	180-220
Invernadero moderno (todo el año) Holanda	550-700

2.3 Clima

2.3.1 Temperatura

El tomate es un cultivo de estación cálida. La temperatura ideal va entre 18 y 27° C. Por esta razón la mayoría de los cultivos al aire libre se producen en climas templados, entre los paralelos 30° y 40° en ambos hemisferios, norte y sur.

En temperaturas bajo 10° C la formación de la flor es afectada negativamente, mientras que la helada nocturna producirá un daño serio en el cultivo (Figura 8).



Figura 8. Daño de helada nocturna.

Las temperaturas sobre 35° C en combinación con baja humedad producirán aborto floral, mientras que la viabilidad del polen será fuertemente reducida debido a la falta de humedad. Un programa de nutrición vegetal balanceado, en lugar de uno desequilibrado, ha demostrado reducir la pérdida de racimos florales bajo estas condiciones de altas temperaturas.

2.3.2 Luz

La cantidad de radiación global determina la cantidad de azúcares producida en las hojas durante la fotosíntesis. Mientras más alta es la cantidad producida de azúcares, la planta puede soportar más frutas, por lo tanto el rendimiento de tomate puede ser más alto.

El tomate es sensible a las condiciones de baja luminosidad, ya que el cultivo requiere un mínimo de 6 horas diarias de luz directa del sol para florecer. Sin embargo, ya que el largo del día no es un factor crítico en la producción de tomates, los invernaderos se encuentran en un amplio rango de latitudes en el mundo.

Si la intensidad de la radiación solar es demasiado alta, se pueden producir partiduras de fruta, golpes de sol, y coloración irregular a la madurez. Un follaje abundante ayudará prevenir la quemadura del sol. Los niveles adecuados de potasio y calcio mantendrán la turgencia y la fortaleza de la célula y así hará que la célula de la planta sea más resistente a la pérdida de agua y consecuentemente también a la quemadura del sol (Figura 9).



Figura 9. Daño de quemadura de sol.

2.4 Agua y Suelo

2.4.1 Agua

El manejo apropiado del riego (Figura 10) es esencial para asegurar el alto rendimiento y la calidad. Al aire libre, el tomate puede necesitar hasta 6.000 m³/ha de agua, y en invernaderos hasta 10.000 m³/ha.

La fertirrigación diaria con cantidades pequeñas de nutrientes evitará el stress por sal (salinidad) en la zona radicular o el agotamiento temprano de nutrientes (falta de nutrición), como podría ser el caso con aplicaciones semanales de fertilizantes.

La escasez de agua (Figura 11) producirá un crecimiento reducido en general, y una absorción escasa de calcio en particular, conduciendo al desequilibrio por deficiencia de calcio, demostrado por la fruta como Blossom End Rot (BER, podredumbre apical) (Figura 12). La floración es afectada negativamente y se podrían perder racimos. Por otro lado, demasiada agua causará muerte de la raíz debido la condición anaeróbica del suelo, retraso de la floración y desórdenes en la fructificación (Figura 13).



Figura 10. Sistema de riego.



Figura 11. Stress hídrico.





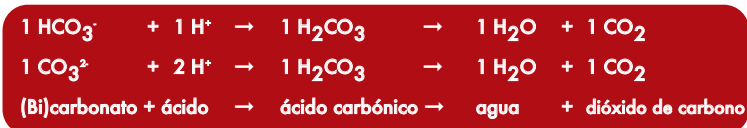
Figura 12. Blossom End Rot (BER).



Figura 13. Partiduras (Cracking).

El agua de riego con un pH alto generalmente contiene niveles altos de bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio. Se recomienda la acidificación del agua para reducir el pH a 5-6 antes que ésta llegue a la planta. Esto mejorará la disponibilidad de ciertos nutrientes, tales como P, Fe, Zn, Cu, Mn y B y evitará la precipitación de sales insolubles que podrían bloquear el sistema de riego por goteo.

La aplicación de ácido (H^+) al bicarbonato (HCO_3^-) o carbonato (CO_3^{2-}) producirá ácido carbónico, un compuesto inestable que se transformará inmediatamente en agua y dióxido del carbono.



Se recomienda neutralizar con un ácido hasta alrededor del 90 a 95% de los (bi)carbonatos presentes en el agua. Con lo cual, el agua mantendrá una pequeña capacidad neutralizante del pH que ayude a evitar una mayor caída en el pH. Un pH muy ácido del agua de riego es indeseable y podría llevar a la disolución de elementos tóxicos presentes en el suelo, como por ejemplo aluminio (Al^{3+}).

2.4.2 Suelo

El suelo ideal tiene una buena capacidad de drenaje y una buena estructura física.

Las raíces están presentes en los primeros 60 cm de profundidad de suelo, con 70% del volumen de raíces total en los primeros 20 cm de profundidad.

El pH ideal del suelo es de 6,0-6,5 (Figura 14). A un pH $> 6,5$ los micro-nutrientes metálicos (Fe, Zn, Mn y Cu), boro (B) y fósforo (P) llegan a estar menos disponible para la absorción de la planta. A un pH $< 5,5$ el fósforo (P) y molibdeno (Mo) son menos disponibles para la absorción de la planta.

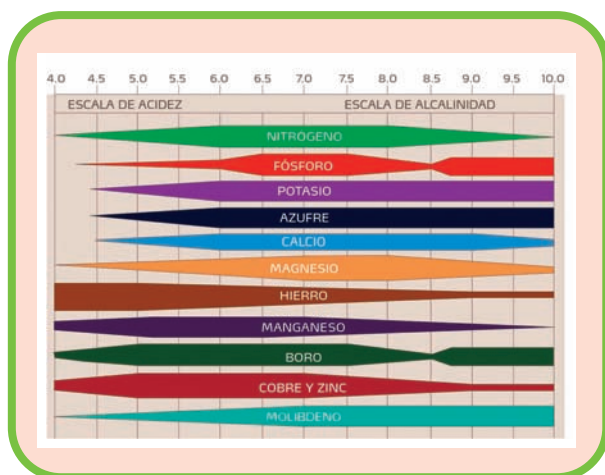


Figura 14. Influencia del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes.

Alternativos de sustratos de crecimiento del cultivo en invernaderos: lana de roca (Figura 15), perlita (Figura 16) y bolsas llenadas de fibra de coco (Figura 17).



Figura 15. Tomate en invernadero cultivado en lana de roca.



Figura 16. Tomate en invernadero cultivado en perlita.



Figura 17. Tomate en invernadero cultivado en una bolsa con fibra de coco.

2.5 Materia Orgánica y Estiércol

Se aplican materia orgánica y estiércol para aumentar la capacidad de retención de agua del suelo y para mejorar la estructura y actividad microbiológica del suelo. Se debe prestar atención al hecho que el estiércol puede contener cantidades sustanciales de nutrientes y así puede aumentar el riesgo de tener un exceso de nutrientes en la zona radicular (riesgo de salinización) y de producir ciertos desequilibrios de nutrientes.

Las aplicaciones de 10-50 ton/ha de estiércol contribuirán a una parte importante de la demanda total de nutrientes. El estiércol de pollo seco (Cuadro 5) es más concentrado que el estiércol de vacuno seco (Cuadro 6). Con 10 ton de estiércol de pollo, se aplican 243 kg/ha de nitrógeno. Si se aplican 50 ton/ha de estiércol de vacuno seco, se proporcionarán aproximadamente 50 ton/ha x 5,5 kg/ton de nitrógeno total = 275 kg/ha de nitrógeno total.

Cuadro 5. Contribución promedio de nutrientes en estiércol de pollo.

		N total	N-min	N-org	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
		en kg por 100 kg de Estiércol						
Pollo (seco)		2,4	1,1	1,3	2,8	2,2	0,4	0,3
Aplicación (ton/ha)	10	243	109	134	283	222	35	30

Fuente: Handboek Meststoffen NMI, 1995.

Cuadro 6. Contribución promedio de nutrientes en estiércol de vacuno.

		N total	N-min	N-org	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
		en kg por 100 kg de Estiércol						
Vacuno (seco)		0,55	0,11	0,44	0,38	0,35	0,15	0,10
Aplicación (ton/ha)	10	55	11	44	38	35	15	10

Fuente: Handboek Meststoffen NMI, 1995.

La mayoría del nitrógeno se encuentra limitado en compuestos orgánicos y se liberará durante la temporada de crecimiento como consecuencia de la actividad microbiológica. Esto conducirá a una entrega alta de nitrógeno más tarde en la época de crecimiento, cuando el tomate ya está en su fase reproductiva, causando posiblemente maduración irregular, mal sabor y corta vida de anaquel.

Como esto es uno de los mayores problemas en la práctica del agricultor, se recomienda limitar la dosis de estiércol a un máximo de 25% del total de los requerimientos de nitrógeno y agregar el resto de los nutrientes con productos de nutrición vegetal de especialidad.



2.6 Salinidad

La salinidad es la acumulación de sales en la zona radicular a tal nivel, que limita el rendimiento potencial del cultivo. Por ejemplo, la salinidad puede ser causada por un manejo errado de los fertilizantes, falta de agua o lluvia para drenar el suelo, y/o agua de riego con alta CE (Figura 18).

No se recomienda aplicar materia orgánica y/o usar fertilizantes con cloruros y sulfatos (KCl, sulfato de amonio y sulfato de potasio) bajo condiciones salinas para evitar cualquier mayor aumento de la CE en el suelo. Otras medidas para evitar o reducir problemas de salinidad incluyen lo siguiente:

- Mejorar la capacidad de drenaje del suelo.
- No usar fertilizantes granulados a la siembra (base) y en reabones en la planta.
- Mejorar aguas de mala calidad, mezclándola con agua de buena calidad.
- Seleccionar variedades tolerantes a la salinidad.
- Usar una hilera simple de plantación con doble línea de riego por goteo.
- Utilizar mulch o mantillo o cubierta plástica.
- Diseñar el sistema de riego con capacidad de sobre regar hasta un 35%.



Figura 18. Acumulación de sal del fertilizante en la superficie del suelo.

El tomate es relativamente tolerante a la salinidad (Cuadro 7). Para no reducir su rendimiento potencial, la CE en el extracto saturado del suelo debe ser: $EC_{se} < 2,5$ mS/cm y la CE del agua de riego $< 1,7$ mS/cm. Por ejemplo, un $EC_{se} = 3,5$ mS/cm reduce el rendimiento potencial en 10%. Sin embargo, en algunos casos se desea una CE más alta para mejorar el sabor, °Brix (ej. tomate cherry) y vida de post-cosecha.

Cuadro 7. Reducción potencial de rendimiento de tomate causado por salinidad.

%	CE del Extracto Saturado del Suelo (mS/cm)	CE del Agua de Riego (mS/cm)	Lixiviación Necesaria (%)
0	< 2,5	< 1,7	7
10	3,5	2,3	9
25	5,0	3,4	14
50	7,6	5,0	20

Fuente: Libro Azul, 2002.

2.7 Fenología

Ambas variedades de tomate que se cultivan, indeterminadas y determinadas, pasan por las mismas etapas fenológicas.

2.7.1 Variedades Indeterminadas y Determinadas

En el caso de **crecimiento indeterminado** los tallos principales y laterales continúan su crecimiento. El número de hojas entre las inflorescencias es aproximadamente permanente comenzando de un número específico de flores. Las variedades indeterminadas son producidas para el mercado fresco y se cosechan a mano dentro de un cierto periodo de tiempo (Figura 19).



Figura 19. Cosecha manual de tomate para el mercado fresco.

Como se indicó anteriormente, los tomates indeterminados pasan por las mismas fases fenológicas que los determinados, con la diferencia que el periodo de crecimiento (período de cosecha) en invernadero puede ser más largo que la producción al aire libre (Figura 20). Los tomates al aire libre tienen un periodo de vida de 90-150 DDT (días después de trasplante). Los tomates de invernadero tienen un periodo de vida de 120-300 DDT.



Figura 20. Invernadero con cultivo de tomate.

En el caso de **crecimiento determinado** los tallos principales y laterales dejan de crecer después que un número específico de inflorescencias que se desarrollan, las que varían de acuerdo con la variedad. Las variedades determinadas, usadas para propósitos industriales, se cosechan manualmente en 2 a 3 recolecciones (Figura 21) o se cosechan mecánicamente en una sola operación (Cuadro 22). La uniformidad del cultivo y de la fruta (tamaño y madurez) es por consiguiente importante, sobre todo en caso de cosecha mecánica.



Figura 21. Cosecha manual de tomates.



Figura 22. Cosecha mecánica de tomate para la industria.

2.7.2 Etapas Fenológicas

El tomate tiene varias etapas de desarrollo en su ciclo de crecimiento: Establecimiento de la planta joven - Crecimiento vegetativo - Floración - Desarrollo de la fruta - Maduración (Figura 23).

Cada etapa es diferente con respecto a sus necesidades nutritivas. En virtud de esto, se analizan las etapas fenológicas del tomate cultivado al aire libre. La información es solamente indicativa, ya que el tiempo dependerá de la variedad, condiciones medioambientales y manejo del cultivo.

- **Establecimiento de la planta:** Se enfoca en el desarrollo firme de la raíz y la formación inicial de las partes aéreas de la planta.
- **Crecimiento vegetativo:** Ocurre en los primeros 40-45 días, después de lo cual las frutas empiezan a desarrollarse continuamente. Este periodo es seguido por otras 4 semanas de crecimiento rápido, mientras la planta está floreciendo y está desarrollando frutas. Después de 70 días, no hay casi ningún desarrollo vegetativo, ni acumulación de materia seca en hojas y tallos.

- Floración y cuaja:** Dependiendo de la variedad, las condiciones medioambientales y el manejo del cultivo, la floración y cuaja empiezan alrededor de 20-40 días después del trasplante y continúan durante el resto del ciclo de crecimiento. La polinización se efectúa por medio de abejas, viento y aplicación de hormonas (auxinas) para promover la cuaja.
- Desarrollo de fruta:** Después de la floración y cuaja, la fruta empieza a desarrollarse y a crecer, y logra en este periodo la mayor acumulación de materia seca en la fruta, a un ritmo relativamente estable.
- Madurez fisiológica y cosecha:** En promedio, se logra la madurez de fruta a los 80 DDT. La cosecha continúa permanentemente, a menos que se detenga por razones climáticas (heladas) o por razones económicas (precio del tomate).

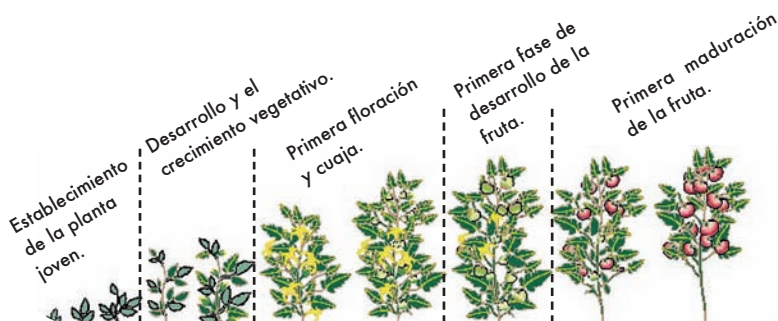


Figura 23. Estados fenológicos en tomate cultivados al aire libre.

Fuente: el SQM México Folleto.

2.8 Madurez Uniforme

La nutrición vegetal balanceada conducirá a una madurez uniforme con frutas bien coloreadas y de tamaño similar. Madurez uniforme en el cultivo del tomate significa que todos los frutos alcanzan la madurez al mismo tiempo. Esto es especialmente importante para los tomates que se cosechan mecánicamente. Se usan las variedades determinadas para este propósito.

La cosecha mecánica (destruictiva), se comienza cuando por lo menos el 90% de las frutas han alcanzado la madurez (color rojo). Los procesadores aceptan fruta que muestra cambio de color externo. En algunos campos se aplica un agente de maduración de fruta varias semanas antes de cosechar para aumentar al máximo el porcentaje de fruta coloreada.



Figura 24. Tomates cosechados para la industria.

Sin embargo, los atributos de calidad buscados en la fruta de tomate, alcanzan su valor óptimo una semana antes de la fecha de cosecha agronómica y ellos permanecen constantes por lo menos durante una semana después, cuando el porcentaje de madurez todavía es bajo del punto de vista agronómico. Por esta razón, la selección de la mejor fecha de cosecha se basa en aspectos agronómicos, más que en los parámetros físico-químicos (pH, °Brix, consistencia, color y contenido de carotenoides), debido al hecho que el rendimiento esperado por cosechar es alcanzado después que la calidad analítica (De la Torre *et al*, 2001).

Especialmente para la industria de enlatado de tomate entero y partido, las frutas tienen que ser iguales, bien coloreadas y uniforme en tamaño (Sonito, 2003).

Del punto de vista nutritivo de la planta significa que se debe aplicar suficiente potasio, porque las cantidades de potasio requeridos para la producción de fruta uniformemente madura excede considerablemente los requeridos para el rendimiento máximo (Roorda van Eysinga, 1966; Winsor y Long, 1967; Adams *et al*, 1978).



Figura 25. Tomates uniformes para el mercado fresco.

2.9 Desórdenes Fisiológicos

Pueden ocurrir varios desórdenes fisiológicos en tomate. Ellos son principalmente causados por condiciones medioambientales extremas (temperaturas altas o bajas, humedad alta) en las etapas críticas de la planta (floración y cuaja).

2.9.1 Bufado (Puffiness, Hollowness o Boxiness)

El bufado se describe como fruta con una porción hueca entre la pared exterior y los lóculos y un número reducido de semillas. A la fruta bufada le falta algo o toda la gelatina que normalmente rodea la semilla. Externamente, la fruta es angular en lugar de redonda (Figura 26).

El bufado es causado por una variedad de condiciones medioambientales extremas como temperaturas altas o bajas, baja intensidad de luz o alta intensidad de lluvia. Los desequilibrios hormonales entre auxinas y citoquininas pueden causar bufado en particular bajo las condiciones de clima frío. También puede ser causada por uso de nitrógeno excesivo y desequilibrio por deficiencia de potasio.

Bufado (Figura 27) expresa varios síntomas pertenecientes al mismo desorden.



Figura 26. Bufado en tomate: una fruta con una porción hueca entre la pared exterior y los lóbulos.



Figura 27. Bufado en tomate: la fruta es angular en lugar de redonda.

2.9.2 Russetting (Marcas en el Fruto)

Russetting se muestra como una cicatriz café en la piel debido a las condiciones de humedad (normalmente invernadero) durante el crecimiento de la fruta (figura 28). Daño por aspersión también puede causar problemas similares.



Figura 28. Russetting.

La incidencia de russetting aumenta con carga baja de fruta (i.e. menos de 20 frutas desarrolladas). El porcentaje de fruta con russetting es mayor durante la producción temprana y en el periodo final de la producción. Una gran cantidad de productos asimilados originarios de las hojas, en relación al tamaño de la fruta, está disponible para crecimiento de la fruta y como resultado, aumenta su tasa de crecimiento. Las partiduras ocurren porque la expansión de la epidermis no puede mantener el ritmo de crecimiento de la fruta.

El russetting es generalmente inadvertido por el consumidor, sin embargo, la vida de postcosecha en el mercado se ve significativamente reducida en fruta que exhibe los síntomas de russetting (Grodan, 2005).

2.9.3 Marca de Cicatriz de Antera

La cicatriz de antera es una marca vertical a lo largo del lado de la fruta. La cicatriz se parece una cremallera, o marca dejada por puntadas (Figura 29). La cicatriz es causada por la antera que se pega al borde del ovario (fruta inmadura). Al aumentar la fruta de tamaño, la antera se corta de la fruta dejando una cicatriz. Este es un problema genético y probablemente no es causado por alguna condición medioambiental.



Figura 29. Marca de cicatriz de antera.

2.9.4 Catfacing (Cara de Gato)

Catfacing se describe como una fruta deformada debido a un desarrollo anormal, generalmente debido a las condiciones frías en la floración o en la cuaja (Figura 30).



Figura 30. Catfacing.

2.10 Pestes y Enfermedades



Figura 31. Fruta del tomate afectada por *Botrytis*.

Si el estado nutritivo de la planta se encuentra desequilibrado, ésta se pone más susceptible a las plagas y enfermedades. Por ejemplo un desequilibrio por exceso de nitrógeno hará que la planta crezca muy rápido, y debido a que las células nuevas son relativamente débiles, ellas son más susceptibles a insectos penetrantes.

También un desequilibrio por deficiencia de calcio conduce a que la planta tenga células más débiles y las hace más susceptible a *Botrytis* (Moho Gris, Figura 31) y otros hongos.

2.11 Parámetros de Calidad para el Mercado Fresco e Industrial de Tomate

El ingreso del agricultor depende mayormente de ambos del rendimiento y calidad del cultivo cosechado, el cual puede incluir características que afecten positivamente la salud humana, como un contenido alto de licopeno (carotenoide, antioxidante y anticancerígeno). La nutrición balanceada de la planta juega un papel importante para alcanzar los estándares de calidad del mercado fresco y del mercado industrial de tomate (pasta concentrada, tomate sin piel y en cubos).

2.11.1 Parámetros de Calidad para el Mercado Fresco de Tomate

Los siguientes parámetros de calidad son esenciales para el mercado fresco de tomate:

- Bien coloreado y brillante (sin hombros verdes o marcas o manchas verdes inmaduras).
- Forma uniforme (Figura 32).
- Textura o firmeza a la mordedura (los tomates más firmes son menos susceptibles a daño y tienen una mayor vida de post-cosecha).
- Sabor: contenido alto de azúcar (principalmente fructosa) y contenido alto de ácido (principalmente ácido cítrico) dan el mejor sabor.
- Limpio y libre de defectos externos.
- Características relacionadas con la salud, como son los niveles altos de licopeno (anticancerígeno) y vitamina C.



Figura 32. Fruta de tomate de alta calidad con uniformidad en tamaño y color.

2.11.2 Parámetros de Calidad para la Industria de Pasta Concentrada de Tomate

Los siguientes parámetros de calidad son esenciales para la industria de pasta concentrada de tomate:

- Alto nivel de materia seca (sólidos solubles + insolubles; Figura 33) lo que significa menos agua en la fruta, por lo tanto costará menos dinero para quitar esa agua en el proceso de concentración.
- °Brix alto, nivel alto de sólidos solubles totales (TSS > 99% azúcares).
- Color del jugo (antes y después del proceso de concentración).
- Contenido de licopeno alto.
- Viscosidad (relacionada al nivel de sólidos insolubles que representan alrededor de 50% de los sólidos totales).
- Acidez (pH).
- La presencia/ausencia de hongos (índice Howard).



Figura 33. Corte transversal de tomate con fruta de paredes gruesa, lo que indica un contenido alto de materia seca.

2.11.3 Parámetros de Calidad para la Industria del Tomate Sin Piel y Rebanado

Los siguientes parámetros de calidad son esenciales para la industria del tomate sin piel y rebanado:

- Bien coloreado.
- Libre de defectos externos (antes y después del proceso industrial).
- Fácil de quitar la piel.
- Calibre uniforme.
- Alta calidad organoléptica del producto final.

3 El Rol de los Nutrientes con Énfasis en el Potasio y Calcio

Un adecuado programa de manejo nutricional sólo se puede hacer cuando hay una comprensión clara del rol de todos de los principales nutrientes. Se presta atención especial al potasio y calcio que han demostrado ser elementos importantes en todas las demostraciones de campo de SQM cuando el objetivo es mejorar rendimiento y calidad (ver también el Capítulo 9). Sin embargo, también es importante considerar todos los nutrientes para un programa nutricional balanceado.

3.1 Potasio

El rol del potasio en tomate se relaciona directamente con la calidad y producción. El aumento de los niveles de potasio mejora el comportamiento de la planta.

3.1.1 Potasio para la Calidad y Producción

El potasio es el nutriente más importante que influye en la calidad de la fruta (Roorda van Eysinga, 1966; Winsor y Long, 1967; Adams *et al*, 1978).

Los roles esenciales del potasio se encuentran en la síntesis de la proteína, los procesos fotosintéticos y el transporte de azúcares de las hojas a las frutas. Un buen suministro de potasio sustentará, por consiguiente, desde el principio la función de la hoja en el crecimiento de la fruta y contribuirá al efecto positivo del potasio en el rendimiento y en el alto contenido de sólidos solubles (más azúcares) en la fruta en el momento de la cosecha. Aproximadamente entre 60-66% de potasio absorbido por la planta, se encuentra en la fruta (Winsor *et al*, 1958). La acción del potasio en la síntesis de la proteína refuerza la conversión del nitrato absorbido en proteínas, contribuyendo a una mejor eficiencia del fertilizante nitrogenado proporcionado.

El potasio es un catión que está involucrado en el mantenimiento del potencial osmótico de la planta (turgencia de la célula), una implicación de esto es el movimiento del estoma, la apertura estomática permite a las plantas intercambiar gas y agua con la atmósfera. Esto permite a las plantas mantener un estado adecuado de hidratación bajo las condiciones de stress como salinidad o escasez de agua. De hecho, el cultivo de tomate con un contenido alto de potasio generalmente muestra una eficiencia mayor de uso de agua, o sea, este consume relativamente menos agua que cultivos deficientes de potasio para producir la misma cantidad de biomasa.

Además, el potasio está involucrado en procesos de maduración de la fruta tal como la síntesis del pigmento licopeno, que es responsable del color rojo del tomate. El potasio promueve un contenido alto de ácido, lo cual es esencial para un buen sabor de la fruta.



K

Resumen del rol del potasio en la planta de tomate:

- Promueve la producción de proteínas (conversión más rápida a proteínas).
- Promueve la fotosíntesis (más asimilación de CO_2 y más azúcares).
- Intensifica el transporte y almacenamiento de productos asimilados (fotosintatos) desde la hoja a la fruta (Figura 34).
- Prolonga e intensifica el periodo de asimilación (mejor calidad de fruta).
- Mejora la eficiencia de fertilizantes nitrogenados.
- Mejora la eficiencia de uso de agua (menos agua requerida/kg de planta).
- Regula la apertura y cierre de estomas (células guarda).
- Es responsable por la síntesis de licopeno (color rojo).

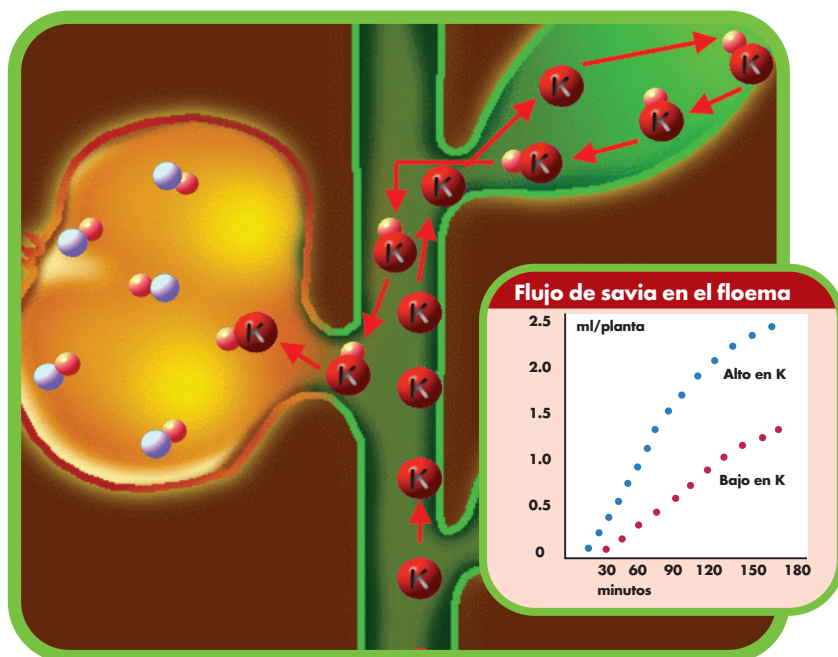


Figura 34. Potasio intensifica el transporte y almacenamiento de fotosintatos desde la hoja a la fruta.

3.1.2 Aumentos de Niveles de Potasio en Tomate

La investigación ha mostrado que el aumento de niveles de potasio en tomate produce los efectos siguientes:

- Mejora la forma de la fruta (Winsor y Long, 1968).
- Reduce la incidencia de desórdenes en maduración (Bewley y White, 1926; Adams *et al*, 1978).
- Reduce de la proporción de fruta hueca (Winsor, 1966).
- Mejora de la firmeza de la fruta (Shafshak y Winsor, 1964).
- Mejora el sabor mediante el aumento de acidez (Davis y Winsor, 1967).



3.2 Calcio para Plantas Fuertes

El calcio tiene tres funciones principales en la planta:

- Es esencial para las paredes de la célula y estructura de la planta. Aproximadamente el 90% del calcio se encuentra en las paredes de la célula. Actúa como un factor de cohesión que consolida células juntas y sostiene su estructura en los tejidos de la planta. Sin calcio, se detiene el desarrollo del nuevo tejido (división celular y extensión) de raíces y brotes. Como consecuencia el rendimiento del cultivo es gravemente afectado. El calcio es el elemento clave responsable por la firmeza de frutas de tomate. Retarda la senescencia resultando en hojas duraderas capaces de continuar el proceso de la fotosíntesis.
- Mantiene la integridad de membranas celulares. Esto es importante para el funcionamiento apropiado de mecanismos de absorción, así como para prevenir el escape de elementos fuera de las células.
- También se encuentra en el centro de los mecanismos de defensa de la planta, que la ayuda a detectar y reaccionar contra stress externo. Ambos roles en la defensa de la planta y en firmeza del tejido son importantes para la resistencia contra el ataque de patógenos y deterioro durante el almacenamiento de la fruta.

Una particularidad del calcio es que casi se transporta exclusivamente con el flujo de la transpiración a lo largo del xilema, i.e. es principalmente distribuido desde las raíces hacia las hojas, los órganos principales de la transpiración (Figura 35). Por otro lado, las frutas con una baja tasa de transpiración son proveídas con escaso calcio. Sólo el 5% del calcio va a la fruta (Cuadro 8). Así, una transitoria deficiencia de calcio puede ocurrir fácilmente en frutas y sobre todo en el periodo cuando la tasa de crecimiento es alta y conduce a la necrosis del extremo apical de la fruta, identificado como BER.



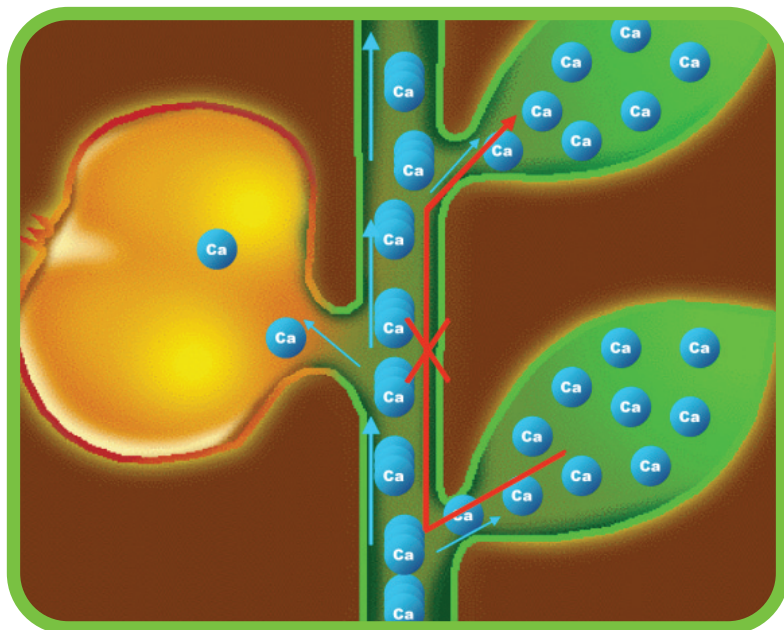


Figura 35. Transporte del calcio en la planta.

Cuadro 8. División de nutrientes y materia seca entre las partes de la planta, expresado en porcentaje del total

Nutriente y Materia Seca	Hojas %	Tallo %	Brotes Laterales %	Total de Partes Vegetativas %	Frutas %	Total %
N	23	8	8	39	61	100
P	20	15	5	40	60	100
K	19	11	5	34	66	100
Ca	76	15	4	95	5	100
Mg	50	15	5	70	30	100
S	72	8	4	83	17	100
Materia Seca	20	14	4	38	62	100

Fuente: Voogt, 1993.

Los factores que también aumentan el flujo de transpiración hacia las hojas (condiciones climáticas) o disminuyen la disponibilidad de calcio por la absorción de la planta (sequía, CE/salinidad alto, y desequilibrio nutricional) aumentarán el riesgo de desarrollo de BER. Solamente el suministro suficiente y constante de calcio en forma soluble con nitrato de calcio puede prevenir deficiencias de este nutriente.

3.3 Problemas Principales en el Crecimiento del Tomate Respecto a la Falta de Potasio y Calcio

El Cuadro 9 describe los problemas principales en el crecimiento del tomate, relacionados con un desequilibrio por deficiencia de potasio y calcio.

Cuadro 9. Los problemas principales en el crecimiento del tomate y su relación a un desequilibrio por deficiencia de potasio y calcio.

Parámetros	Problemas Principales en el Crecimiento del Tomate	Relacionado a	
		K	Ca
Comportamiento de la planta	Rendimiento bajo	x	x
	Heterogeneidad en tamaño e irregular madurez	x	
	Cuaja limitada	x	
	Tomate pequeño	x	
Calidad externa	Falta de color	x	
	Fruta blanda / sin firmeza	x	x
	Limitado almacenamiento / limitada vida de anaquel	x	x
Calidad interior (sabor)	°Brix bajo (Sólidos solubles)	x	x
	Falta de acidez	x	
Desórdenes y defectos	BER (blossom end rot)		x
	Partiduras ("cracking")	x	x
	Quemadura del sol	x	x
Tolerancia / Resistencia	Estado de humedad (sequía / transpiración)	x	x
	Enfermedades (fungosas)	x	x
	Salinidad	x	x



3.4 Resumen de los Roles Principales de los Nutrientes

El Cuadro 10 resume los roles principales de todos los nutrientes.

Cuadro 10. Roles principales de todos los nutrientes.

Nutriente	Símbolo	Papeles Principales
Nitrógeno	N	Síntesis de la clorofila y proteína (crecimiento y rendimiento).
Fósforo	P	División de la célula y transferencia de energía.
Potasio	K	Transporte de azúcar. Regulación del régimen de humedad.
Calcio	Ca	Calidad de almacenamiento y menor susceptibilidad a enfermedades.
Azufre	S	Síntesis de aminoácidos esenciales: cisteína y metionina.
Magnesio	Mg	Parte central de la molécula de clorofila.
Hierro	Fe	Síntesis de la clorofila.
Manganeso	Mn	Requerido para la fotosíntesis.
Boro	B	Para la formación de la pared celular (pectina y lignina), también como un componente estructural de la pared celular. Para el metabolismo y transporte de azúcar. Para la floración, cuaja y desarrollo de la semilla (germinación del polen y crecimiento del tubo polínico).
Zinc	Zn	Crecimiento y desarrollo temprano (auxinas).
Cobre	Cu	Influye en el metabolismo de hidratos de carbonos y del nitrógeno. Activador de la enzima para la producción de lignina y melanina.
Molibdeno	Mo	Componente de enzimas nitro-reductasa ($\text{NO}_3 > \text{NO}_2 > \text{NH}_3$) y nitrogenasa (conversión de $\text{N}_2 > \text{NH}_3$ por las bacterias de <i>Rhizobium</i> fijadoras de N).

4 Guía de Información que Facilita Manejo Nutricional

Los datos de la pauta son esenciales para el agrónomo para hacer recomendaciones adecuadas respecto al mercado objetivo y los requerimientos del comprador. Se presentan las curvas de absorción de nutrientes para tomate cultivado en suelo al aire libre y en lana de roca en un invernadero.

Las curvas de absorción de nutrientes describen la absorción de nutrientes por cada nutriente y por cada fase fenológica. Se puede hacer una división entre las partes aéreas (flores, hojas, tallos y frutas) y partes del suelo (raíces y órganos de almacenamiento). La curva de la absorción de nutrientes es la base para la recomendación de fertilizantes.

Se dan pautas para el manejo del nitrógeno en tomate cultivado al aire libre, para la industria y en invernadero cultivado en lana de roca.

4.1 Nutrición de Tomate Cultivado al Aire Libre

4.1.1 Curvas de Absorción de Nutrientes de Tomate Cultivado al Aire Libre

Las Figuras 36, 37, 38 y 39 describen la absorción de N, P y K durante el ciclo de crecimiento de tomate cultivado al aire libre en el Sur Este de Francia para un rendimiento estimado de 90 ton/ha (Dumas, 2005).

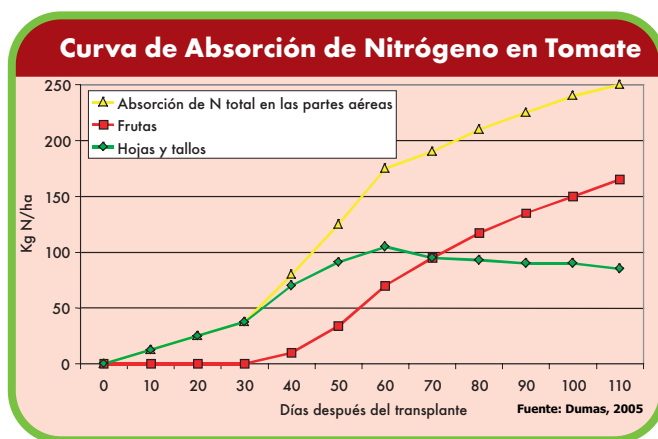


Figura 36. Absorción de nitrógeno en frutas, hojas y tallos, y absorción de nitrógeno total en las partes aéreas con un rendimiento de 90 ton/ha de tomate al aire libre.



Curva de Absorción de Fósforo en Tomate

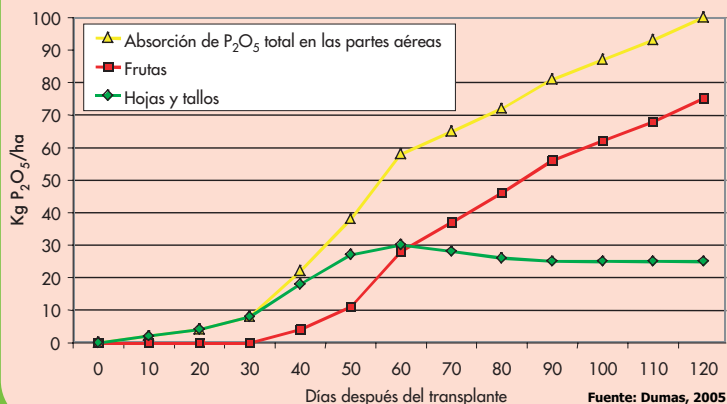


Figura 37. Absorción de P_2O_5 en frutas, hojas y tallos, y la absorción de P_2O_5 total en las partes aéreas con un rendimiento de 90 ton/ha de tomate al aire libre.

Curva de Absorción de Potasio en Tomate

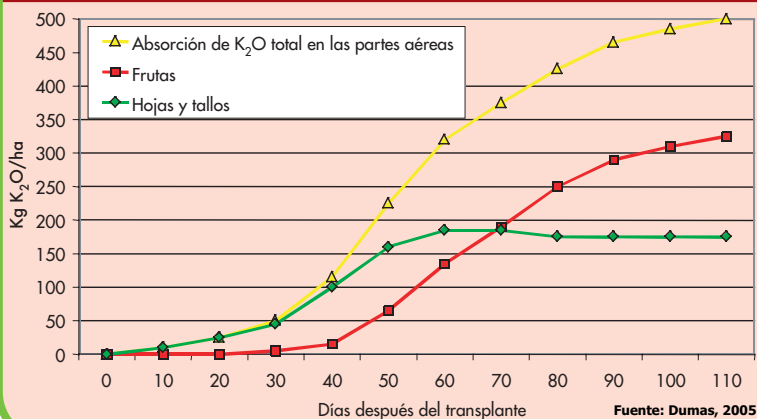


Figura 38. Absorción de K_2O en frutas, hojas y tallos, y la absorción de K_2O total en las partes aéreas con un rendimiento de 90 ton/ha de tomate al aire libre.

Curvas de Absorción de N, P y K en Tomate

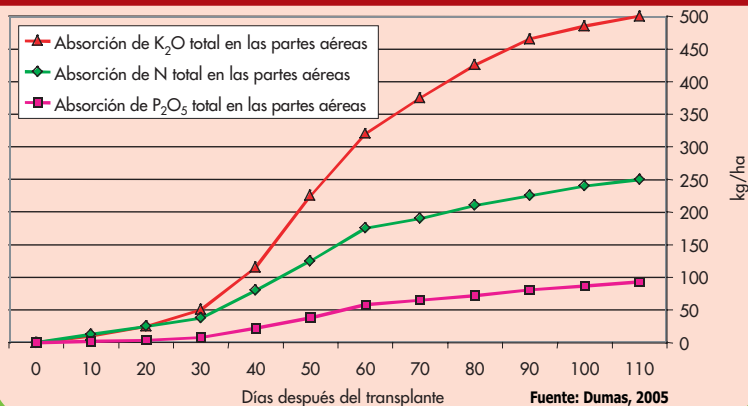


Figura 39. Absorción total de N, P_2O_5 y K_2O en las partes aéreas con un rendimiento de 90 ton/ha de tomate al aire libre.

4.1.2 Manejo de Nitrógeno en Tomate al Aire Libre

El nitrógeno es el nutriente principal responsable por el desarrollo del área foliar y debe estar, por consiguiente, presente desde las primeras fases de desarrollo de planta hacia adelante. Dado el corto periodo en que puede tener lugar la absorción de nitrógeno, el nitrógeno aplicado como fertilizante debe estar inmediatamente disponible para la planta e idealmente en la forma de nitrato ($N-NO_3^-$), porque el nitrato es la forma de nitrógeno que la planta prefiere absorber. Se recomienda aplicar no más de 20% del nitrógeno total como amonio y por lo menos 80% como nitrato (Cuadro 13).



4.1.3 Manejo de Nitrógeno para el Tomate Industrial

Las pautas siguientes de manejo de nitrógeno se pueden usar para el tomate industrial:

- Aplicar sólo N-NH_4^+ a la siembra y en la fase inicial del cultivo para evitar un exceso de nitrógeno durante la fase reproductiva.
- Crear "Hambre de nitrógeno."
- Desde la floración en adelante el agricultor debe reducir las cantidades aplicadas de nitrógeno. Así, él evitará la vegetación excesiva (hojas) que complicará la cosecha mecánica. Un suministro limitado de nitrógeno también estimulará una maduración uniforme y aumentará la cantidad de sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$).

4.2 Nutrición de Tomate en Invernadero

La Figura 40 muestra una curva de absorción de nutrientes durante un año completo del cultivo de tomate en invernadero en lana de roca. Hay un marcado aumento en la concentración de absorción de potasio (mmole/l) durante la floración en los primeros 10 racimos (= el periodo de aumento de carga de fruta), con un máximo entre la floración del racimo 7 $^{\circ}$ y 10 $^{\circ}$. Este aumento coincide con una disminución en la concentración de absorción de Ca y Mg.

En esta fase de gran carga de fruta, hay una reducción en crecimiento de la raíz que produce una capacidad menor de absorción de Ca y Mg. La relación de absorción entre N, P y S es más o menos estable en el tiempo. Las pautas de fertilización y ajustes son basados en éstas curvas de absorción. Ellas se relacionan a la etapa del cultivo para la que fue elegido el número de racimos a la antesis (Voogt y Sonneveld, 1998).

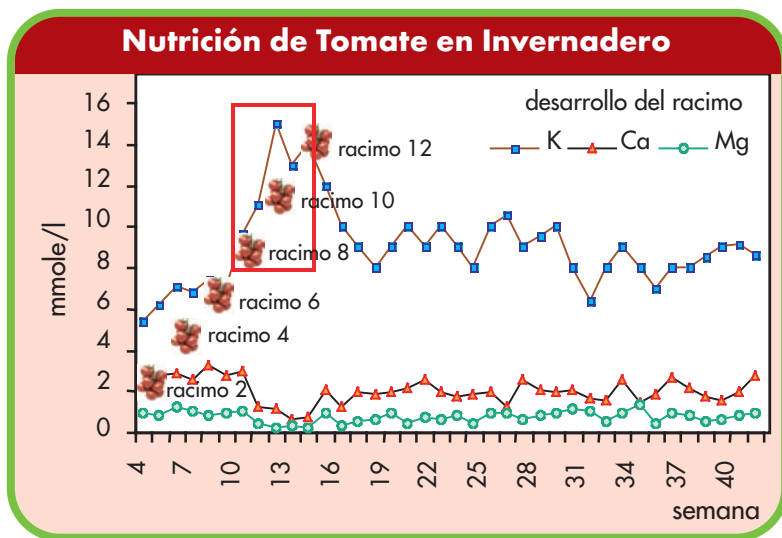


Figura 40. La absorción de K, Ca y Mg por la planta en relación al desarrollo de racimos y tiempo.

En el Cuadro 11 es presentada la solución nutritiva estándar para el tomate de invernadero cultivado en lana de roca con drenaje abierto y cambios por etapa fenológica. La CE = 2,6 mS/cm. Los cambios se expresan en mmole/l y ppm (como la solución del gotero).



Cuadro 11. Solución nutritiva estándar para tomate de invernadero en lana de roca con drenaje abierto y cambios por etapa fenológica.

	NO ₃		K		Ca		Mg		SO ₄		H ₂ PO ₄		NH ₄		μmole/l					
	16	9,5	5,4	2,4	4,4	1,5	1,2	15	10	5	30	0,75	0,5	15	10	5	30	0,75	0,5	
Cambios por Etapa Fenológica																				
1. Tabla de saturación de lana de roca	16	5,7	6,90	3,40	4,7	1,0	0,0	15	10	5	40	0,75	0,5							
2. De siembra a floración 1 ^{er} racimo	17	8,5	5,90	2,90	4,4	1,5	1,2	15	10	5	30	0,75	0,5							
3. De floración a primera flor 1 ^{er} racimo	16	9,5	5,40	2,40	4,4	1,5	1,2	15	10	5	30	0,75	0,5							
4. De floración a primera flor 3 ^{er} racimo	16	10,0	5,28	2,28	4,4	1,5	1,2	15	10	5	30	0,75	0,5							
5. De floración a primera flor 5 ^o racimo	16	11,3	4,78	2,15	4,4	1,5	1,2	15	10	5	30	0,75	0,5							
6. De floración a primera flor 10 ^o racimo	16	10,0	5,28	2,28	4,4	1,5	1,2	15	10	5	30	0,75	0,5							
7. De floración a primera flor 12 ^o racimo	16	9,5	5,40	2,40	4,4	1,5	1,2	15	10	5	30	0,75	0,5							

Tomate con Drenaje Abierto												
Lana de Roca, 1 Ciclo/Año												
Solución Normal de Nutrientes												
	N-NO ₃	K	Ca	Mg	S	P	N-NH ₄	Fe	Mn	Zn	B	Mo
	224	371	216	58	141	47	17	0,84	0,55	0,33	0,32	0,048
Cambios por Etapa Fenológica												
1. Tabla de saturación de lana de roca	224	222	276	83	149	31	0	0,84	0,55	0,33	0,43	0,048
2. De siembra a floración 1 ^{er} racimo	238	332	236	70	141	47	17	0,84	0,55	0,33	0,32	0,048
3. De floración a primera flor 1 ^{er} racimo	224	371	216	58	141	47	17	0,84	0,55	0,33	0,32	0,048
4. De floración a primera flor 3 ^{er} racimo	224	390	211	55	141	47	17	0,84	0,55	0,33	0,32	0,048
5. De floración a primera flor 5 ^o racimo	224	439	191	52	141	47	17	0,84	0,55	0,33	0,32	0,048
6. De floración a primera flor 10 ^o racimo	224	390	211	55	141	47	17	0,84	0,55	0,33	0,32	0,048
7. De floración a primera flor 12 ^o racimo	224	371	216	58	141	47	17	0,84	0,55	0,33	0,32	0,048

Adaptado de: *Bemestingsadviesbasis substraten*, 1999.



El Cuadro 12 muestra el promedio de absorción de nutrientes de un cultivo de tomate de ciclo largo cultivado en 5 diferentes invernaderos en los Países Bajos. La absorción de toda la planta (hojas + tallos + frutas) se expresa como rendimiento en ton de fruta. El promedio de rendimiento fue de 40 kg/m² o 400 ton/ha.

Cuadro 12. Promedio de absorción de nutrientes de un cultivo de tomate de ciclo largo cultivado en 5 diferentes invernaderos en los Países Bajos.

	kg de Nutrientes / ton de Fruta
N	2,2
P	0,5
K	3,9
Ca	1,6
Mg	0,4
S	0,6

	kg de Nutrientes / ton de Fruta
N	2,2
P ₂ O ₅	1,2
K ₂ O	4,7
CaO	2,2
MgO	0,6
SO ₃	1,5

Adaptado de: Voogt, 1993.

El Cuadro 13 resume los niveles máximos recomendados de amonio en hidroponía y en el suelo para evitar BER.

Cuadro 13. Niveles máximos recomendados de amonio en hidroponía y en el suelo para evitar BER.

Sistemas de Cultivo de Tomate	Niveles Máximos de NH ₄ en % de N Total	Explicación
Hidroponía	5-7	Evitar BER
Suelo	20	Evitar BER

Fuente: Voogt, 2002.



5 Galería de Fotos de Desequilibrios por Deficiencias y/o Excesos Nutricionales

Una galería de fotos de desequilibrios por deficiencias y/o excesos nutricionales es una herramienta útil para determinar las causas de semejantes desequilibrios. Se recomienda obtener una confirmación y un mejor entendimiento de la naturaleza de los síntomas vía planta, suelo y/o análisis de agua, realizado por un laboratorio calificado. Por ejemplo, un desequilibrio por deficiencia de un cierto nutriente puede ser provocado por un desequilibrio por exceso de otro nutriente.

Los síntomas de desequilibrios de deficiencias de nutrientes se describen más adelante y son ilustrados por medio de fotografías. En algunos casos se presentan descripciones de desequilibrio por exceso de nutrientes, como también fotografías.

N

- Crecimiento lento de la planta.
- Hojas amarillo-verdes con muerte prematura de las hojas más viejas.
- Las hojas nuevas en desarrollo son pequeñas.
- Tallos espesos y duros.
- Cuaja pobre como caída de botones florales.
- Frutas pequeñas y verdes antes de madurar.
- Rendimiento reducido.



Figura 41. Desequilibrio por deficiencia de nitrógeno.



P

- Las hojas presentan en su parte inferior, incluyendo las venas y las áreas intervenales, un color verde-azulado muy oscuro o púrpura. Las hojas maduras son pequeñas con hojuelas curvadas y rizadas hacia abajo. Los tallos son delgados y achaparrados, y las raíces son café y desarrollan pocas ramas laterales.



Figura 42. Desequilibrio por deficiencia de fósforo.

K

- Las plantas jóvenes tienen hojas verdes oscuras, tallos pequeños e internudos cortos.
- Necrosis en el borde de las hojas más viejas, la hoja curvada hacia arriba.
- Manchas necróticas intervenales en hojas más viejas.
- Las frutas caen fácilmente durante la maduración.
- Fruta con manchas (blotchy) en la maduración (Hewitt, 1944).
- Las frutas son 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).
- Maduración irregular (Hewitt, 1944).
- Manchas "vitrreas" (Seaton y Gray, 1936).
- Altura de planta y área foliar reducida (White, 1938).
- Número reducido de frutas por racimo (Clarke, 1944).
- Proporción de cuaja reducida (Clarke, 1944).
- Promedio de peso por fruta reducido (Clarke, 1944).



Figura 43. Desequilibrio por deficiencia de potasio.



Figura 44. Falta de color.



Figura 45. Piel partida ("cracking").



Figura 46. Deficiencia de potasio en la hoja.

Ca

El desequilibrio por deficiencia de calcio resulta en:

- Quemado de nuevo crecimiento y muerte de los puntos de crecimiento en las raíces y brotes.
- Las hojas de las plántulas se distorsionan y desarrollan colores amarillo, café o áreas purpúreas necróticas empezando por el margen de la hoja y pasando a las áreas intervenales.
- En plantas maduras, los bordes de las hojas más jóvenes se tornan café y algunas áreas intervenales se tornan amarillas.
- El punto de crecimiento se muere y las yemas florales no se desarrollan.
- La fruta es afectada por podredumbre apical (blossom end rot – BER).



Figura 47. Desequilibrio por deficiencia de calcio.



Figura 48. Desequilibrio por exceso de calcio (mancha dorada, "goldspeck") causado por acumulación de oxalato de calcio bajo la piel, se muestra como manchas pequeñas en el hombro de la fruta.

Mg

- Tejido intervenal de las hojas más viejas de tomate de color amarillo y blanco necrótico.



Figura 49. Desequilibrio por deficiencia de magnesio.

S

La deficiencia de azufre tiene una apariencia similar a la deficiencia de nitrógeno, sin embargo comienza en las hojas jóvenes, ya que el azufre no es tan móvil como el nitrógeno en la planta.

- Color verde pálido en las hojas más jóvenes.



Figura 50. Desequilibrio por deficiencia de azufre.



Tejido apical con clorosis, sobre todo en el tomate cultivado en suelo con pH alto. El CaCO_3 libre puede inducir deficiencia de hierro.



Figura 51. Desequilibrio por deficiencia de hierro.



Figura 52. Desequilibrio por deficiencia de hierro.

Zn

El desequilibrio por deficiencia de zinc resulta en:

- Planta de tomate enana o achaparrada, el área intervenal de las hojas más viejas con manchas blanca y necróticas.



Figura 53. Desequilibrio por deficiencia de zinc.



Figura 54. Desequilibrio por exceso de zinc con amarillamiento intervenal en las hojas.



Mn

El desequilibrio por deficiencia de manganeso conduce a:

- Clorosis intervenal, con venas verdes en la hoja joven extendida.



Figura 55. Desequilibrio por deficiencia de manganeso.



Figura 56. Desequilibrio por exceso de manganeso, normalmente aparece como depósitos negros (no mostrado aquí) alrededor de las venas, con amarillamiento en el tejido circundante, el que gradualmente se extiende por la hoja.

B

El desequilibrio por deficiencia de boro conduce a un enanismo (achaparramiento) severo de las plántulas de tomate. Esto puede ser inducido por exceso de cal.



Figura 57. Desequilibrio por deficiencia de boro.



Figura 58. Desequilibrio por deficiencia de boro.



Figura 59. Desequilibrio por exceso de boro con pequeñas manchas café a lo largo de los márgenes de las hojas.



Cu

Los márgenes de las hojas maduras tienden a encresparse hacia arriba y adentro. Pueda ocurrir en sustratos orgánico como turba.



Figura 60. Desequilibrio por deficiencia de cobre.

Mo

Primero se muestra como clorosis jaspeada o moteada entre las venas en las hojas más viejas. Las venas más pequeñas también se tornan cloróticas. Los márgenes de la hoja se encrespan hacia arriba.



Figura 61. Desequilibrio por deficiencia de molibdeno.

6 Características de los Productos de NVE con Respecto a la Efectividad en la Rectificación de Desequilibrios Nutricionales

Este capítulo describe aquellos productos fertilizantes que están disponibles y por qué ciertos fertilizantes son mejores que otros en la corrección de desequilibrios nutritivos, satisfaciendo las necesidades de la planta durante su crecimiento y desarrollo.

6.1 Selección de Fertilizantes

Hay varias posibilidades de seleccionar fertilizantes para la fertilización del tomate. Esto se puede hacer con productos granulados de nutrición vegetal de especialidad para las aplicaciones del campo (Qrop™), con productos solubles de nutrición vegetal de especialidad para fertirrigación (Ultrasol™) o combinaciones de ambos, posiblemente complementados con productos de nutrición vegetal de especialidad para aplicaciones foliares (Speedfol™).

La selección dependerá principalmente de:

- Forma de cultivar el tomate (ej. lluvia, riego por inundación y goteo).
- Economía (costo/beneficio).
- Acceso al fertilizante.
- Conocimiento sobre el producto y sus usos (agricultor, asesor y distribuidor).
- Conveniencia.

Ultrasol™ **Qrop™**

Speedfol™
Foliar Certified Solutions



6.2 Nutrición Vegetal de Especialidad por Nutriente

6.2.1 Nitrógeno

La urea, amonio y nitrato, son las 3 formas principales de nitrógeno en fertilizantes nitrogenados que sufrirán diferentes procesos en el suelo (Figura 62).

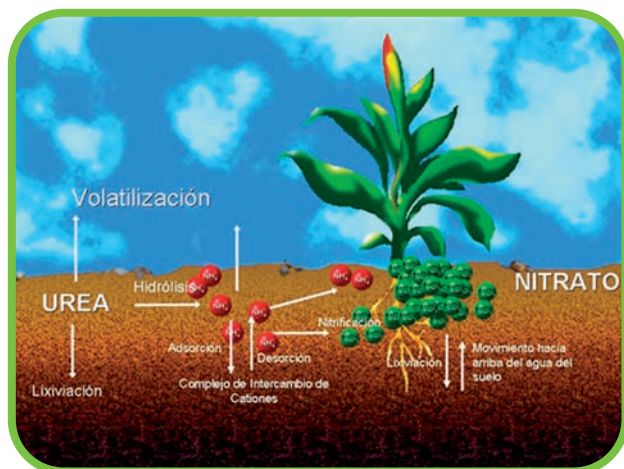


Figura 62. Proceso de la transformación química en el suelo cuando se usan fertilizantes que contienen urea, amonio y nitrato.

6.2.1.1 Urea

La urea no puede ser usada directamente por las plantas. Sin embargo, una vez aplicada en suelo, será rápidamente hidrolizada en amonio. Antes o durante esta hidrólisis, las pérdidas de nitrógeno pueden ocurrir como lixiviación de urea o como emisión de amoníaco. La urea es eléctricamente neutra y así no será adsorbida por las capas del suelo cargadas eléctricamente. Por consiguiente, se moverá fácilmente a los bordes del bulbo húmedo del sistema de riego por goteo y se encontrará fuera del alcance de las raíces.

6.2.1.2 Amonio

El amonio es fácilmente fijado por las partículas del suelo y lo hace menos susceptible a ser lixiviado. Al mismo tiempo es, por consiguiente, casi inmóvil en el suelo lo que restringe su disponibilidad para las plantas. La mayoría del amonio se transforma en nitrato previo a la absorción de la planta. Antes de este proceso de nitrificación, se pueden perder cantidades significativas de amonio como amoníaco (NH_3) en suelo con pH alto.

La conversión de la urea y amonio en nitrato puede durar de una a varias semanas dependiendo del pH, humedad, temperatura y la presencia de ciertas bacterias (Nitrosomas y Nitrobacter). Esto implica un retraso en la disponibilidad de nitrógeno y resulta en una mayor imprecisión en el manejo del nitrógeno.

Una cantidad alta de amonio, en la zona radicular, puede conducir a la inanición o desnutrición de las raíces en condiciones de temperatura alta en la zona radicular, como consecuencia de la extinción de oxígeno debido al proceso de nitrificación.

El amonio compite para la absorción de las raíces de otros cationes (antagonismo) como el potasio, magnesio y calcio, y esto puede inducir a desórdenes nutritivos. En particular, un exceso de amonio puede llevar a los problemas de BER (Cuadro 12), como resultado de una escasez de calcio en las frutas, aun cuando se encuentra presente un amplio contenido de calcio en la solución nutritiva del suelo.

El amonio aplicado en suelo calcáreo con $\text{pH} > 7,5$ conducirá a la formación de amoniaco (NH_3) y a pérdidas por volatilización.

6.2.1.3 Nitrato

Por otro lado, las plantas pueden absorber directamente el nitrato aplicado al suelo. No requiere ninguna transformación y, porque el nitrato es soluble en la solución del suelo, entra fácilmente en contacto con las raíces. La aplicación parcial de fertilizantes con nitrato permite un manejo muy preciso en el suministro de nitrógeno al cultivo. El nitrato no es volátil lo que significa que no hay ninguna pérdida de nitrógeno como volatilización del amoniaco. Existe una sinergia en la absorción de nutrientes entre los aniones y cationes. El nitrato es un anión y promueve la absorción de cationes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , y NH_4^+) (Figura 63). La conversión de nitrato en aminoácidos ocurre en la hoja. Esto lo hace un proceso energético eficiente, porque se usa energía solar en la conversión. La conversión de amonio sucede principalmente en las raíces. La planta tiene que quemar azúcares sintetizados previamente para proporcionarle combustible a esta conversión. Esto significa que menos azúcares están disponibles para el crecimiento y desarrollo de la fruta. El nitrato no se fija en las partículas del suelo y por consiguiente es susceptible a ser lixiviado. Sin embargo, el manejo apropiado del riego puede reducir a un mínimo el riesgo de perder nitrógeno por lixiviación.



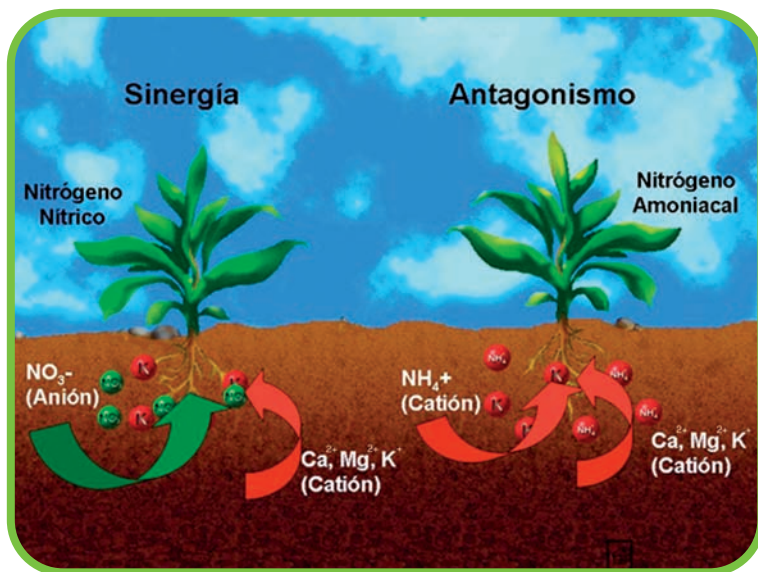


Figura 63. Sinergismo y antagonismo en la absorción de nutrientes en la zona radicular de la planta entre cationes y nitrato o amonio como fuente de nitrógeno.

6.2.1.4 Nitrato versus Sulfato y Cloruro en Tomate

La absorción de calcio es influenciada positivamente por las concentraciones de cloruro en el ambiente de la raíz. Al aumentar SO_4^{2-} y específicamente Cl^- , apareció menos BER. Por otro lado, un contenido alto de Cl^- en la zona radicular aumentó los síntomas de mancha dorada o "goldspeck" (Figuras 64 y 65).



Figura 64. Mancha dorada o "Goldspeck".



Figura 65. Mancha dorada o "Goldspeck": Manchas pequeñas en el hombro de la fruta.

Mancha dorada o "Goldspeck" se revela como manchas pequeñas en el hombro de la fruta, dando a la fruta una apariencia poco deseable (Figura 64). Goldspeck es causado por acumulación de oxalato de calcio bajo la piel. Se desarrolla a menudo en ciertas variedades o bajo condiciones de alta humedad. Los altos niveles de Cl^- promueven la absorción de Ca y el aumento de la incidencia de goldspeck (pero reduce BER).

La vida de post-cosecha de las frutas tiende a disminuir al aumentar el Cl^- y SO_4^{2-} , en forma similar ocurre en frutas afectadas severamente por goldspeck (Nukaya *et al*, 1991). Aunque el uso de Cl^- en tomate (para reemplazar parte del N-NO_3^-) es práctica común en estos días, las cantidades aplicadas deben superarse cuidadosamente para evitar goldspeck. Para más información referirse al 6.2.5. Cloruro.

6.2.1.5 Productos de Nutrición Vegetal de Especialidad que Contienen Nitrógeno

Los fertilizantes que contienen nitrato son nitrato de potasio, nitrato de magnesio, nitrato de calcio y nitrato de amonio. El nitrato de calcio (15,5% N = 14,3% $\text{N-NO}_3^- + 1,2\% \text{N-NH}_4^+$) proporciona también parcialmente nitrógeno amoniacal el que puede ser suficiente para controlar el pH en hidroponía. El nitrato de amonio se usa en cantidades pequeñas en invernaderos para controlar el pH en la zona radicular y en fertirrigación al aire libre como parte de la fertilización total de nitrógeno (Cuadro 14). La urea es la fuente nitrogenada menos preferida debido a su ineficiencia.

Cuadro 14. Fertilizantes principales de nitrógeno divididos por el tipo de nitrógeno.

Forma Principal de N en el Fertilizante	Nombre Común	Fórmula
Nitrato	Nitrato de potasio	KNO_3
	Nitrato de potasio sódico	$\text{KNO}_3 \cdot \text{NaNO}_3$
	Nitrato de calcio sólido	$(5[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2] \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3) \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
	Nitrato de calcio líquido	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en solución
	Nitrato de magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	Nitrato de amonio	NH_4NO_3
	Acido nítrico	HNO_3
Amonio	Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
	Fosfato mono amónico (MAP)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
	Fosfato diamonio (DAP)	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
Urea	Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
	Fosfato de urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$



6.2.2 Fósforo

Todos los fertilizantes fosforados son neutralizantes del pH. Sin embargo, algunos de ellos son acidificantes más fuertes que otros. Otra diferencia se encuentra en su pureza química y solubilidad (i.e. la cantidad de insolubles). Por ejemplo el MAP está disponible como fertilizante de campo, para aplicación directa al suelo y grado hidropónico para fertirrigación. Por consiguiente, la opción por la que el fertilizante fosfatado debe usarse está principalmente en función del efecto deseado en el pH del agua y suelo, y de su solubilidad.

Cuadro 15. Características de los fertilizantes fosforados.

Nombre Común	Fórmula	Características
Fosfato monoamónico (MAP)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	Para suelos con pH > 7,5
Fosfato diamónico (DAP)	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	Para suelos con pH 6-7,5
Fosfato monopotásico (MKP)	KH_2PO_4	
Super fosfato triple (TSP)	principalmente $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	Para suelos con pH < 6
Fosfato de urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$	Acidificante fuerte en forma sólida
Acido fosfórico	H_3PO_4	Acidificante fuerte en forma líquida

En sistemas de fertirrigación no se puede mezclar fosfatos con calcio en altas concentraciones en la solución madre, debido a que se produciría la precipitación de fosfato de calcio. Sin embargo, se puede mezclar fosfato de urea con nitrato de calcio en ciertas concentraciones.

6.2.3 Potasio

Cuadro 16. Características de fertilizantes potásicos.

Nombre Común	Fórmula	Características
Nitrato de potasio	KNO_3	Es el fertilizante potásico ideal durante todas las etapas de crecimiento y también suministra parte de la demanda de nitrato de la planta. Solubilidad alta de 320 g/l a 20° C.
Nitrato de potasio sódico	$KNO_3 \cdot NaNO_3$	Producto ideal con un 15% N-nítrico, 14% K_2O . Contiene 19% de Na para aumentar la presión osmótica en la solución del suelo para mejorar °Brix y el contenido de materia seca de las frutas. Estas dos características son importantes para la industria del tomate.
Sulfato de potasio	K_2SO_4	Fertilizante ideal para la fase de crecimiento final cuando no se requiere N. El SOP tiene una solubilidad limitada en la práctica del agricultor, de aproximadamente 6% (cuando se mezcla con otros fertilizantes).
Bicarbonato de potasio	$KHCO_3$	Principalmente usado como un corrector del pH para aumentarlo.
Cloruro de potasio	KCl	Referirse al punto 6.2.5 Cloruro.

6.2.4 Calcio

Cuadro 17. Características de fertilizantes cálcicos.

Nombre Común	Fórmula	Características
Nitrato de calcio sólido	$(5[Ca(NO_3)_2] \cdot NH_4NO_3) \cdot 10 H_2O$	Por lejos es la fuente más usada de calcio soluble. El nitrato de calcio sólido contiene algo de amonio para el control del pH en hidroponía.
Nitrato de calcio líquido	$Ca(NO_3)_2$ en solución	No contiene amonio y se puede usar cuando no se requiere amonio.
Cloruro de calcio	$CaCl_2$	Referirse al punto 6.2.5 Cloruro.



6.2.5 Cloruro

Las fuentes principales de cloruro son CaCl_2 , MgCl_2 , KCl y NaCl . El cloro con frecuencia es usado para aumentar el sabor de tomate. Sin embargo, el exceso de cloro conducirá fácilmente a:

Salinización en la zona radicular (con aumento excesivo de la conductividad eléctrica).

Competencia en la absorción en la zona de las raíces con otros aniones (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-}), produciendo desequilibrio de nutrientes.

Incidencia de goldspeck (desequilibrio por exceso de Ca provocado por exceso de Cl).

Vida de post-cosecha más corta. La vida de post-cosecha de la fruta tendió a disminuir con el aumento de Cl. Las frutas afectadas severamente por goldspeck tienen una vida de post-cosecha más corta (Nukaya *et al*, 1991).

6.2.6 Magnesium

Cuadro 18. Características de fertilizantes magnésicos.

Nombre Común	Fórmula	Características
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Es la fuente más usada de Mg. No se puede mezclar con calcio en el tanque madre (formación de yeso (CaSO_4)).
Nitrato de magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Tiene una disolución rápida y alta solubilidad, también a temperatura baja. Es compatible con todas las otras fuentes de fertilizantes en las dosis normalmente recomendadas.

6.2.7 Azufre

Cuadro 19. Características de fertilizantes azufrados.

Nombre Común	Fórmula	Características
Sulfato de magnesio	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Usado para completar la demanda de magnesio y para suplir parte del S.
Sulfato de potasio (SOP)	K_2SO_4	Usado para proporcionar al resto de la demanda de S y parte de la demanda de K en la nutrición de tomate.
Sulfato de amonio	$(NH_4)_2SO_4$	Su uso debe estar limitado a las cantidades recomendadas de S y amonio para evitar salinidad y desequilibrios nutritivos en la zona radicular.
Acido sulfúrico	H_2SO_4	Acido fuerte. Se debe limitar su uso a las cantidades recomendadas de S y del ácido.

El sulfato no se puede mezclar con calcio en la solución madre muy concentrada. Esto produciría la precipitación de sulfato de calcio (yeso).

6.2.8 Fertilizantes NPK Solubles y Granulados

Además de los fertilizantes de aplicación directa mencionados, existen también numerosas fórmulas con mezclas NPK granuladas y solubles disponibles en el mercado. Estas fórmulas son una buena alternativa como fertilizantes de aplicación directa, tanto como que ellos cubren los requerimientos nutritivos de la planta durante las diferentes etapas de crecimiento. Ellas pueden ser agrupadas por etapas fenológicas (Ultrasol™ inicial, desarrollo, crecimiento, producción, multi-propósito, color, calidad, post-cosecha, fruta y especial) o por cultivo basado en fórmulas (Ultrasol™ tomate, pimiento dulce, pepino, flor, fresa y lechuga) para las fuentes solubles. Existe una segmentación similar para productos Qrop™, la nutrición vegetal de especialidad para las aplicaciones de campo.

6.2.9 Resumen de los Fertilizantes Solubles y Granulados más Usados con Macro y Micro-nutrientes

El Cuadro 20 resume los fertilizantes solubles y granulados más usados y sus posibles restricciones para el uso en tomate. El Cuadro se debe leer como sigue: Cada intersección entre una fila y una columna representa un fertilizante. Por ejemplo: donde el nitrato y el potasio se cruzan, el fertilizante es nitrato de potasio; y donde P y K se cruzan, el fertilizante es fosfato mono potásico.



Cuadro 20. Resumen de los fertilizantes solubles y granulados más usados y sus posibles restricciones para el uso en tomate.

	H ácido	N-NO ₃ nitrato	N-NH ₄ amonio	N-NH ₂ urea	P fósforo	K potasio	Ca calcio	Mg magnesio	S azufre	Cl cloruro
H		X			X				X	
N-NO ₃	X		X			X	X	X		
N-NH ₄		X			X				X	
N-NH ₂					X					
P	X		X	X		X	X			
K		X			X				X	
Ca		X						X		
Mg		X					X		X	
S	X		X			X		X		
Cl										
NPK		X	X		X	X		X		

X Fuente Preferida

X Uso restringido

■ No recomendado

6.2.10 Micro-elementos

El Cuadro 21 resume las fuentes principales de micronutrientes usadas en fertirrigación, aplicaciones foliares y de campo. Para fertirrigación y aplicaciones foliares, se debe aplicar hierro (Fe) como quelato. El tipo de quelato depende del pH del agua de riego y del suelo: Fe-EDTA (pH < 6), Fe-DTPA (pH < 7) y Fe-EDDHA o Fe-EDDHMA (pH > 7). En caso de EDDHA o EDDHMA por lo menos el 50% del Fe debe ser quelatado por el isómero orto-orto, mientras que el 80% del orto-orto proporcionará la mayor estabilidad del Fe en el quelato. Además de los productos listados en el Cuadro 21, se encuentran disponibles numerosas mezclas de micro-elementos y otros productos de especialidad. Contacte su agrónomo de SQM o distribuidor local para más información sobre estos productos.

Cuadro 21. Resumen de las fuentes principales de micro-nutrientes usados en fertirrigación, aplicaciones foliares y de campo.

Símbolo	Nutriente	Fuentes Principales	Comentarios
Fe	Hierro	EDTA	Para fertirrigación cuando el pH < 6 y como foliar.
		DTPA	Para fertirrigación cuando el pH < 7.
		EDDHA / EDDHMA	Para fertirrigación cuando pH > 7.
Zn	Zinc	EDTA	EDTA se disuelve más fácil que el sulfato.
		Sulfato	
Mn	Manganeso	EDTA	EDTA se disuelve más fácil que el sulfato.
		Sulfato	
Cu	Cobre	EDTA	EDTA se disuelve más fácil que el sulfato.
		Sulfato	
B	Boro	Acido bórico	Efecto acidificante. Las plantas sólo absorben boro como ácido bórico, por lo tanto, es la fuente de boro más eficiente.
		Borato de sodio	Reacción alcalina.
		Ulexita	Borato de calcio sódico con 32% B ₂ O ₃ para la entrega progresiva de boro. Esto reduce el riesgo de toxicidad de boro y asegura un periodo largo de suministro de boro a la planta.
Mo	Molibdeno	Molibdato de sodio	El molibdato de sodio es una fuente más barata que el molibdato de amonio.
		Molibdato de amonio	



7 Prácticas y Programas Efectivos de Nutrición Vegetal

Ahora se puede diseñar un programa efectivo de nutrición vegetal para tomate al aire libre y para el tomate de invernadero, basado en la información que se ha presentado anteriormente en esta Guía de Manejo de Nutrición Vegetal de Especialidad.

Los programas específicos para el cultivo dependerán de una diversidad de variables. Consulte con su distribuidor o ingeniero agrónomo de SQM para averiguar cual programa de manejo nutricional es apropiado para su área.

En seguida se proporciona un ejemplo de cómo calcular la recomendación de fertilizante para un tomate cultivado en suelo.

Para hacer una recomendación de fertilizante para un tomate cultivado en suelo se debe seguir los pasos siguientes:

- Analizar el suelo o la solución del suelo y el agua de riego antes de plantar.
- Balancear nutricionalmente el suelo según el análisis y agregar las cantidades estratégicas de los elementos en la aplicación de base.
- Cuando se usa materia orgánica o estiércol, hay que tener en cuenta que estos pueden liberar cantidades sustanciales de nutrientes durante la fase de crecimiento. Estas cantidades tienen que ser consideradas para el cálculo final en el programa de fertilizante.
- El diseño de los fertilizantes a aplicar debe ser basado en la absorción de nutrientes por fase fenológica, en relación al rendimiento esperado, reservas de nutrientes en el suelo y la eficiencia de absorción de nutrientes por el tipo de sistema de riego.
- Después de calcular la aplicación total de nutrientes requerida para el rendimiento esperado, se pueden seleccionar fertilizantes para cada fase fenológica.
- Se recomienda analizar el suelo de nuevo a las 4-6 semanas y 8-10 semanas después de plantar (iniciación de la flor y cuaja), o analizar la solución del suelo vía métodos alternativos regularmente y corregir la dosis de fertilizantes si es necesario.

El Cuadro 22 muestra la demanda de nutrientes del tomate respecto a un rendimiento esperado de 100 ton/ha de tomate bajo riego por goteo.

Después de haber calculado la necesidad total de nutrientes, se debe deducir la cantidad de nutrientes presentes en el suelo y agua de riego, disponibles para la nutrición de la planta. Estos se deben medir como los nutrientes solubles en agua. La acidificación del agua de riego al usar ej. fosfato de urea, ácido nítrico o fosfórico podría neutralizar los carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio, aumentando así la disponibilidad de estos nutrientes para la nutrición de la planta. El resto tiene que ser dividido por la eficiencia de cada nutriente aplicado vía riego por goteo. Se presenta un ejemplo en el Cuadro 23.

En el próximo paso los nutrientes tienen que ser divididos por fase fenológica. El Cuadro 24 muestra una división por nutriente por fase fenológica. Multiplicando la aplicación total de nutrientes (kg/ha) por la aplicación de nutrientes por fase fenológica (%), da como resultado la necesidad de nutrientes por fase fenológica expresada en kg/ha de nutrientes. Del Cuadro 24 se puede calcular la cantidad/ha del fertilizante soluble por fase fenológica. Verifique con su ingeniero agrónomo local de SQM para determinar qué productos son más convenientes para coincidir con estos cálculos.



Cuadro 22. Demanda de nutrientes para 100 ton/ha de tomate bajo riego por goteo.

Etapa	Características del Suelo y de la Planta de Tomate	Unidad	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
1	Nutrientes requeridos para la formación del follaje o canopia.	kg/ha	95	27	130	260	95	76
	Nutrientes requeridos para la producción de 1 tonelada de fruta.	kg/ton	1,8	0,39	3,77	0,17	0,24	0,12
	Nutrientes requeridos para la producción de 100 ton de fruta.	100	180	39	377	17	24	12
	Total (follaje + producción de fruta).	kg/ha	275	66	507	277	119	88

Adaptado de: Ferrirrigação, 1999; Cristou et al, 1999; Voogt, 1993.

Cuadro 23. Ejemplo de la demanda de nutrientes para 100 ton/ha de tomate, descontando las reservas y corregida por la eficiencia de cada nutriente aplicado vía riego por goteo.

Etapa	Características del Suelo y de la Planta de Tomate	Unidad	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
2	Supuesto:	kg/ha	55	36	82	187	59	43
	Reservas en el suelo y agua/aplicación de base							
	Para ser aplicado vía fertirrigación	kg/ha	220	30	425	90	60	45

Etapa	Eficiencia de Absorción de Nutrientes con Riego por Goteo	Unidad	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
3		%	80	30	85	60	60	60
	Aplicación total de nutrientes	kg/ha	275	100	500	150	100	75

Cuadro 24. División de nutrientes por etapa fenológica expresada en porcentajes y en kg/ha.

Etapa	Aplicación de Fertilizantes por Etapas Fenológicas	DDT (*)	N	P₂O₅	K₂O	CaO	MgO	S
4			%	%	%	%	%	%
	Trasplante - establecimiento	0-14	5	17	5	5	5	5
	Desarrollo de planta	15-28	12	17	7	15	20	20
	Desde iniciación de floración a comienzo de cuaja.	29-42	20	17	17	20	20	20
	Desde comienzo de cuaja a formación de fruta	43-63	20	16	20	20	20	20
	Desde la formación de fruta al inicio de cosecha	64-84	17	17	18	20	20	20
	Desde inicio de cosecha a plena cosecha	85-112	17	16	18	15	15	15
	Desde plena cosecha a término de cosecha	113-140	9	0	15	5	0	0
	TOTAL		100	100	100	100	100	100

Etapa	Aplicación de Fertilizantes por Etapas Fenológicas (Agrupadas)	DDT (*)	N	P₂O₅	K₂O	CaO	MgO	S
5			kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
I	Trasplante - establecimiento a desarrollo de la planta	0-28	47	34	60	30	25	19
II	Desde iniciación de floración a formación de fruta	29-63	110	33	185	60	40	30
III	Desde formación de fruta a plena cosecha	64-112	94	33	180	53	35	26
IV	Desde plena cosecha a término de cosecha	113-140	25	0	75	8	0	0
	TOTAL		275	100	500	150	100	75

(*) DDT= Días después de trasplante.



Se puede hacer un cálculo similar para aplicaciones de fertilizantes de campo aplicados bajo riego por lluvia o inundación en tomate. En este caso los siguientes porcentajes de eficiencia de nutrientes (Cuadro 25) se pueden usar del Cuadro 23 bajo la etapa 3:

Cuadro 25. Porcentajes de eficiencia de nutrientes para los fertilizantes de campo aplicados bajo riego por lluvia o inundación en tomate.

Nutriente	%
N	40-50
P	10-20
K	50-60
Ca	35-45
Mg	30-40
S	30-40

Se debe dividir el nitrógeno en 3 a 5 aplicaciones. La primera aplicación (aplicación base) puede contener más amonio que nitrato, pero las próximas aplicaciones deben contener más nitrato que amonio. Se debe aplicar alrededor de 55-60% del nitrógeno total hasta el inicio de floración, el resto debe ser aplicado después en aplicaciones parciales.

Se puede aplicar todo el fósforo durante la aplicación base. Se recomienda una aplicación foliar de fósforo durante la floración en combinación con boro y zinc.

El potasio puede seguir las mismas aplicaciones parciales que el nitrógeno. En la primera aplicación se puede usar una mezcla de 55% nitrato de potasio y 45% sulfato de potasio, pero en las siguientes aplicaciones la fuente de potasio preferida es nitrato de potasio prilado o granulado. Se debe aplicar cerca de 40% de total de potasio hasta la iniciación de floración, el resto debe ser aplicado después en aplicaciones parciales.

El calcio 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.

Se puede aplicar todo el azufre en la aplicación base.

Se debe aplicar micro-elementos de acuerdo a los requerimientos. El pH del suelo decidirá sobre la fuente mas adecuada de micro-elementos (quelato y sal) para ser usado.

Pídale a su agrónomo de SQM local un programa adaptado de acuerdo las necesidades y requerimientos locales.

8 Resultados de la Investigación que Demuestran la Necesidad del Equilibrio

Este capítulo muestra una selección de investigaciones científicas para demostrar el efecto de nutrientes y de desequilibrio de nutrientes en el rendimiento y calidad, y la importancia de seleccionar los productos de NVE apropiados.

En la siguiente investigación, se encontraron los niveles más altos de K, Ca y Mg en varios órganos de plantas de pimiento dulce (pimentón), utilizando nitrato como la fuente de N (Cuadro 26) (Xu *et al*, 2001).

Tabla 26. El efecto en absorción de K, Ca y Mg medido en varias partes de la planta de pimiento cuando fueron fertilizadas con fuentes de amonio o nitrato.

Organo	Fuente de N	Contenido de Nutrientes en la Materia Seca (meq/100g)		
		K	Ca	Mg
Hoja	NO ₃	58	161	30
	NH ₄	29	62	25
Pecíolo	NO ₃	176	126	38
	NH ₄	90	61	17
Tallo	NO ₃	162	86	35
	NH ₄	54	50	18
Raíz	NO ₃	93	44	40
	NH ₄	43	38	11

El uso de amonio puede inducir a un desequilibrio en la nutrición de la planta. El amonio compete con la absorción de otros cationes principales (antagonismo) como el potasio, magnesio y calcio que pueden inducir a desórdenes nutritivos. En particular, un exceso de amonio puede conducir a los problemas de BER, que es el resultado de una escasez de calcio en frutas, aun cuando si se encuentra un amplio contenido de Ca en la solución nutricional.

El Cuadro 27 muestra el efecto negativo del nitrógeno amoniacal en la proporción de fruta afectada por BER y en el contenido de calcio en las hojas de plantas de tomate cultivado en sustrato de lámina de nutrientes (Massey y Winsor, 1980).



Cuadro 27. Efecto de nitrógeno amoniacal en la proporción de fruta afectada por BER y en el contenido de calcio en hojas de plantas de tomate cultivado en lámina de nutrientes.

Efecto	% N Proporcionado como N Amoniacal		
	0	20	40
Frutas afectadas por BER en las primeras 4 cosechas (% por número)	0,0	24,0	46,0
Contenido de calcio en hojas (% Ca)	1,8	1,5	0,9

El Cuadro 28 muestra los resultados de la respuesta del tomate a la fertilización de N en hidropónica (Sonneveld y Voogt, 1983; Sonneveld y Voogt, 1985). El mejor resultado global se obtuvo con 100% N-NO₃⁻. Cuando se aplicaron 25% o 50% del nitrógeno como amonio o urea, la incidencia de BER aumentó. Sin embargo, una fertilización de N con 100% N-NO₃⁻ también llevó al índice de clorosis más alto. Por consiguiente, en hidroponía aproximadamente 7% del N-total debe ser N-NH₄⁺ y 93% N-NO₃⁻. El amonio reducirá el pH en la zona radicular manteniendo los micronutrientes en forma disponible para su absorción fácil por la planta, con lo que se reduce la incidencia de clorosis (deficiencia de Fe y Mn).

Cuadro 28. Resultados de la respuesta del tomate a la fertilización nitrogenada en hidropónica.

Tratamiento %			Rendimiento Relativo	Peso de Fruta Relativo	BER %	Índice de Clorosis
NO ₃	NH ₄	Urea				
100			100	100	0,2	5,2
75	25		101	100	3,0	3,5
50	50		96	90	2,8	2,7
75		25	94	94	2,2	4,4
50		50	104	97	4,2	1,0
75	25)*		96	94	2,7	3,6
50	50)*		101	93	2,1	2,0

* = Con inhibidor de nitrificación.

El Cuadro 29 muestra que había más uniformidad en forma y madurez a mayores niveles potásicos (Winsor, 1979).

Cuadro 29. Algunos efectos del K en la forma de la fruta de tomate y en la incidencia en desórdenes de maduración.

Efecto	Potasio Aplicado (kg/ha)			LSD (P = 0,05)
	359	706	1.428	
% de forma irregular (entre fruta de color uniforme)	56,3	32,6	28,0	2,9
% de maduración irregular	40,5	12,4	5,8	3,3
% de maduración irregular (sólo formas severas)	24,1	5,3	1,3	2,6

% del peso.

Existe una relación positiva entre el nivel de K en la hoja y la acidez (Figura 66). La acidez es uno de los componentes principales del sabor del tomate (Adams *et al*, 1978).

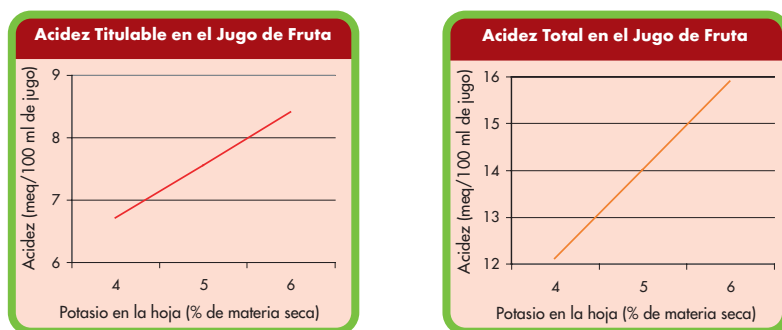


Figura 66. Relación entre el contenido de potasio en hojas del tomate y la acidez titulable (izquierdo) y la acidez total (derecho) en jugo de fruta.

El Cuadro 30 describe el efecto del valor de CE en la calidad de la fruta de tomate (Sonneveld y Voogt, 1990). A mayor CE (la que correspondió con una aplicación más alta de fertilizante) había un mejor color, mejor vida de post-cosecha y mayor acidez y °Brix.

Cuadro 30. Efecto del valor de CE en la calidad de la fruta de tomate.

CE en el Ambiente Radicular mS/cm	Falta de Color %	Vida de Post-Cosecha (Días)	Savia de la Fruta		
			CE mS/cm	Acidez mmole/l	Azúcar °Brix
0,75	21	6,2	4,5	5,9	4,1
2,50	17	6,6	5,1	6,6	4,1
5,00	2	9,1	5,5	7,6	4,6

+



La Figura 67 muestra que una relación mayor de K/Ca (mmole/mmole) en la solución nutritiva produce más °Brix y un aumento en vida de post-cosecha. También demuestra que independiente de la relación K/Ca, a mayor nivel de Mg, se tiene mayores °Brix y vida más larga de post-cosecha.

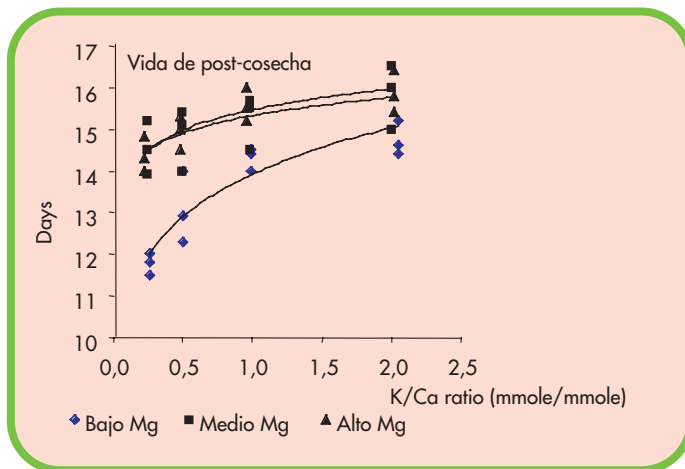
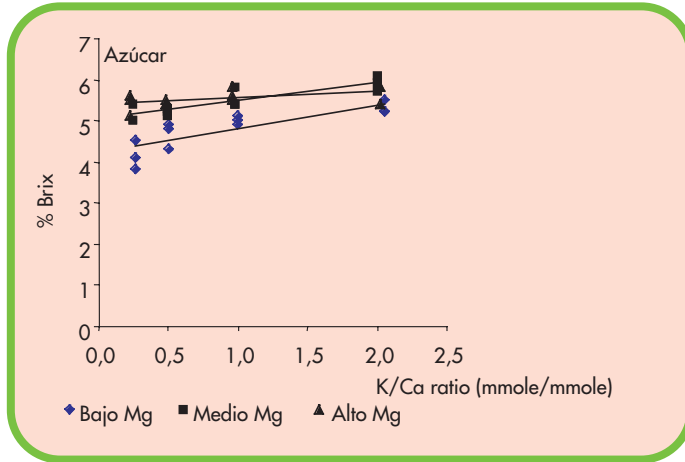


Figura 67. Contenido de azúcar y vida de post-cosecha del tomate a diferentes proporciones de K, Ca y Mg.

Fuente: Voogt, 2002.



El potasio es responsable por la síntesis del licopeno en tomate. Licopeno es:

- Un carotenoide que da el color rojo a los tomates.
- Un antioxidante y anti-cancerígeno (ej. próstata, pulmón, piel, cerviz y vejiga).
- Presente en ketchup, pasta, salsa y jugo de tomate.

Un ensayo con la industria de pasta de tomate en Turquía demostró que una mayor dosis de K condujo a un contenido de licopeno más alto (Cuadro 31). El objetivo de la industria es lograr 14 ppm de licopeno.

Cuadro 31. Efecto de la dosis de KNO_3 en el nivel de licopeno en fruta fresca de tomate.

Dosis KNO_3 en kg/ha	Licopeno ppm
100	10,3
200	13,3

El suelo podría contener cantidades altas de Ca. Esto es principalmente $CaCO_3$ que no está disponible para el crecimiento de la planta. Un estudio en Turquía (Cuadro 32) mostró que incluso en un suelo franco arcilloso, con pH 7,45 y 4.400 ppm Ca, una aplicación con nitrato de calcio resultó en rendimiento más alto, más °Brix y más firmeza de fruta.

Cuadro 32. Efecto de aplicación de nitrato de calcio en el rendimiento, °Brix y firmeza de fruta en un suelo franco arcilloso en Turquía (Kilinc y Tuna, 1996).

Dosis de Nitrato de Calcio (kg/ha)	Rendimiento ton/ha	°Brix	Firmeza kg/cm ²
0	64	5,25	2,25
100	63	5,55	2,26
200	71	5,82	2,38
300	87	6,05	2,54
P	*	**	**

P = Probabilidad

* = Significativo al nivel de 0,05

** = Significativo al nivel de 0,01

Una relación alta de K/Ca (mmole/mmole) y alto nivel de Mg en la solución nutritiva compite con la absorción de Ca en la planta. Una falta de calcio resulta en BER (Figura 68).

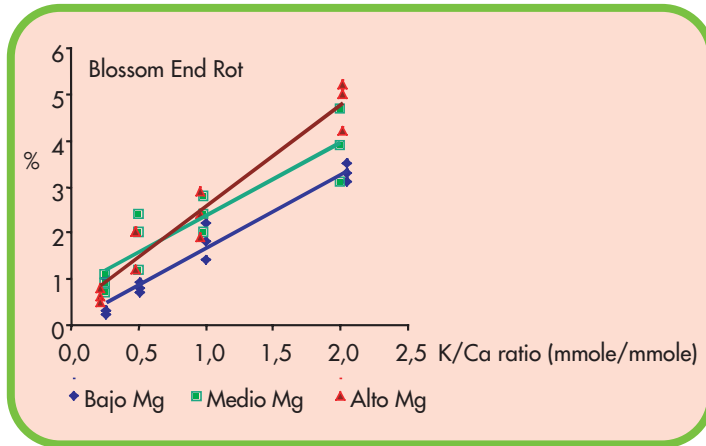


Figura 68. Efecto de diferentes proporciones de K, Ca y Mg en la solución nutritiva en BER (Voogt, 2002).

Síntomas de desequilibrio por exceso de calcio

Goldspeck es un síntoma de desequilibrio por exceso de calcio. Una nutrición desequilibrada de la planta con un nivel relativamente alto de calcio y niveles bajos de K y Mg en la solución nutritiva (mmole) promueve la incidencia de goldspeck (Figura 69). Niveles de Cl aumentados promueven la absorción de Ca y el aumento de la incidencia de goldspeck (pero reduce BER). Frutas afectadas por goldspeck tienen una vida más corta de post-cosecha.

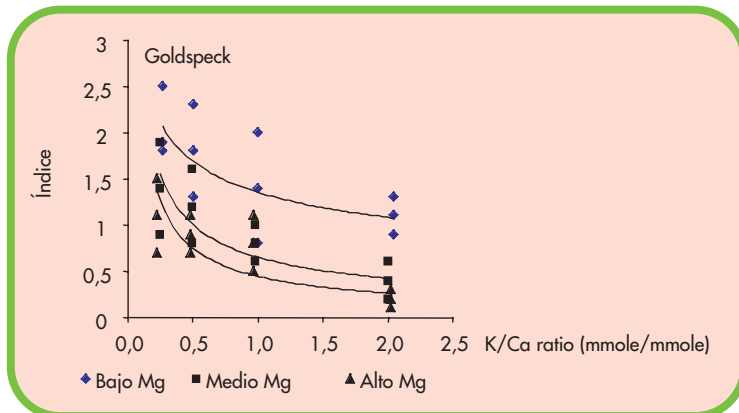


Figura 69. Efecto de diferentes proporciones de K, Ca y de Mg en la solución nutritiva en la incidencia de goldspeck (Voogt, 2002).



9 Efectividad Probada de Costos de Programas de Nutrición Balanceados

Los ensayos demostrativos, desarrollados en muchos países del mundo en tomate al aire libre (mercado fresco e industria) y en invernaderos, han confirmado que el uso de cantidad más alta de aplicación base y de fertilizantes solubles en agua, en un programa nutritivo más balanceado, resulta en un mayor ingreso económico para el agricultor después de deducir los costos extras de fertilizantes.

El resumen de las demostraciones, en tomate de mercado fresco cultivado en campo con riego por goteo, se presenta más abajo (Cuadros 33, 34, 35 y 36). El programa nutritivo balanceado de SQM se compara con el programa de los agricultores. Aunque la aplicación de fertilizante total casi se dobló (Cuadro 33), después de deducir el costo extra de fertilizantes, el agricultor ganó en promedio US\$ 4.700/ha como ingreso extra (Cuadro 34).

Los resultados principales fueron:

- Costo/beneficio.
- Rendimientos más altos.
- Cosecha más temprana, con lo que se consiguió mayores precios en el mercado.
- Precios más altos debido al mejor color, tamaño y forma de la fruta.
- Más °Brix y licopeno (importante para la industria).
- Menos BER.
- Menor susceptibilidad a las enfermedades (Verticillium).
- Aumento en la resistencia de estrés (ninguna pérdida de racimos bajo condiciones de tiempo muy caluroso).

Cuadro 33. Comparación de dosis de aplicación de fertilizantes entre la práctica tradicional del agricultor y el programa balanceado de SQM para tomate cultivado para el mercado fresco al aire libre con riego por goteo.

Fertirrigación con NVE	SQM kg/ha	Agricultor kg/ha	Diferencia kg/ha
Total	3.520	1.881	1.639

Los resultados de las demostraciones de tomate cultivado al aire libre para el mercado fresco se presentan en el Cuadro 34. Para cada US\$ 1 de inversión extra se generó US\$ 5,1 de ingreso extra, lo cual da un retorno de inversión de 515%.

Cuadro 34. Comparación de relación beneficio: costo de la demostración con dosis de aplicación de fertilizantes entre la práctica tradicional del agricultor y el programa balanceado de SQM para tomate cultivado al aire libre para el mercado fresco.

Parámetros	Unidad	Práctica del Agricultor	Programa Balanceado Nutricional de SQM	Diferencia	
				Absoluta	%
Promedio de 8 ensayos					
Rendimiento	ton/ha	87	116	29	33
Precio del tomate	US\$/ton	152	163	11	7
Entrada bruta	US\$/ha	13.276	18.927	5.651	43
Costo total de fertilizante	US\$/ha	2.026	2.945	919	45
Entrada neta	US\$/ha	11.250	15.982	4.732	42
Relación beneficio : costo				5,1	515

Los resultados de una demostración de tomate al aire libre para la industria se presentan en el Cuadro 35. Para cada US\$ 1 de inversión extra se genera US\$ 3,6 de ingreso extra, lo cual da un retorno de inversión de 364%.

Cuadro 35. Comparación de la relación beneficio : costo de una demostración con dosis de aplicación de fertilizantes entre la práctica tradicional del agricultor y el programa nutricional balanceado de SQM para tomate al aire libre, cultivado para el mercado industrial.

Parámetros	Unidad	Práctica del Agricultor	Programa Balanceado Nutricional de SQM	Diferencia	
				Absoluta	%
Rendimiento	ton/ha	86	109	24	27
Precio del tomate	US\$/ton	67	67	0	0
Entrada bruta	US\$/ha	5.749	7.323	1.575	27
Costo total de fertilizante	US\$/ha	212	552	340	160
Entrada neta	US\$/ha	5.537	6.772	1.235	22
Relación beneficio : costo				3,6	364



Los resultados de las demostraciones de invernadero en tomate para el mercado fresco se presentan en el Cuadro 36. Por cada US\$ 1 de inversión extra se generó US\$ 7,9 de ingreso extra, lo que da un retorno de inversión de 794%.

Cuadro 36. Comparación de la relación beneficio: costo de la demostración con dosis de aplicación de fertilizantes entre la práctica tradicional del agricultor y el programa nutricional balanceado de SQM para tomate, cultivado en invernadero.

Parámetros Promedio de 5 Ensayos	Unidad	Práctica del Agricultor	Programa Balanceado Nutricional de SQM	Diferencia	
				Absoluta	%
Rendimiento	ton/ha	167	189	22	13
Precio del tomate	US\$/ton	406	406	0	0
Entrada bruta	US\$/ha	67.931	76.696	8.765	13
Costo total de fertilizante	US\$/ha	2.744	3.724	980	36
Entrada neta	US\$/ha	65.187	72.972	7.785	12
Relación beneficio : costo				7,9	794

10 Bibliografía

Adams P., J.N. Davies y G.W. Windsor. 1978. Effects of nitrogen, potassium and magnesium on the quality and chemical composition of tomatoes grown in peat. *J. Hort Sci* 53, 115-122.

Amitom - www.tomate.org.

Bemestingsadviesbasis substraten. 1999. Eds. C. de Kreij, W. Voogt, A.L. van den Bos y R. Baas. p. 34-36. PPO 169. ISSN 1387-2427.

Bewley, W.F. y H.L. White. 1926. Some nutritional disorders of the tomato. *Ann Appl Biol* 13, 323-338.

Clarke, E.J. 1944. Studies on tomato nutrition. I. The effect of varying concentrations of potassium on the growth and yields of tomato plants. *J. Dep Agric Repub Ire* 41, 53-58.

Cristou, M., Y. Dumas, A. Dimirkou y Z. Vassiliou. 1999. Nutrient uptake by processing tomato in Greece. IWI. Proc 6th Int. ISHS Symp. On Processing Tomato. *Acta Hort* 487: 219-223.

Davis, J.N. y G.W. Winsor. 1967. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and liming on the composition of tomato fruit. *J. Sci Fd Agric* 18, 459-466.

De la Torre, R., R. Ballesteros, J. Lopez, R. Ortiz y R.M. Ruiz. 2001. Agronomic and physical-chemical evolution of tomatoes during ripening. *ISHS Acta Horticulturae* 542: VII Int. Symposium on the Processing Industry.

Dumas, Y. 2005. INRA Centre de Recherches d'Avignon, France. www.avignon.inra.fr.

FAOSTAT data. 2004.

Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. Marcos Vinícius Folegatti –coordinador – Guaíba: Agropecuária. 1999. 460 p. ISBN 85-85347-48-1.

Grodan. 2005. <http://www.grodan.pl/sw13033.asp>.

Handboek Meststoffen NMI. 1995. p. 29. ISBN 90 5439 023 9.



Hewitt, E.J. 1944. Experiments in mineral nutrition. I. The visual symptoms of mineral deficiencies in vegetables and cereals grown in sand cultures. Rep Long Ashton Res Stn 1943, 33-47.

Kilinc, R. y A.L. Tuna. 1996. Effect of soil and foliar applied calcium nitrate doses on yield and quality properties of processing tomato plants grown under field conditions. Annual report of doctorate thesis in soil science department of Ege University, Izmir, Turkey.

Libro Azul. 2002. Manual de fertirriego de SQM. 3a edición. P. 67. ISBN 956-8060-02-2.

Massey, D.M. y G.W. Winsor. 1980. Some responses of tomato to nitrogen in recirculating solutions. Acta Hort 98, 127-137.

Nukaya, A., W. Voogt y C. Sonneveld. 1991. Effects of NO_3 , SO_4 and Cl ratios on tomatoes grown in recirculating system. Acta Horticulturae 294. XXIII International Horticultural Congress.

Roorda van Eysinga, J.P.N.L. 1966. Bemesting van tomaten met kali. Versl Landbouwkundig Onderzoek 667, 37 p.

Seaton, H.L. y G.F. Gray. 1936. Histological studies of tissues from greenhouse tomatoes affected by blotchy ripening. J. Agric Res 52, 217-224.

Shafshak, S.A. y G.W. Winsor. 1964. A new instrument for measuring the compressibility of tomatoes and its application to the study of factors affecting fruit firmness. J. Hort Sci 39, 284-297.

Sonito. 2003. www.sonito.fr/prodraison.asp.

Sonneveld, C. y W. Voogt. 1983. Nitrogen source and crop growth. Annual Report 1983. Glasshouse Crops Research and Experiment Station, Naaldwijk, The Netherlands, 20-21.

Sonneveld, C. y W. Voogt. 1985. Stikstofvormen bij intensieve bemestingsystemen voor kasteelten. Intern verslag nr 54. Proefstation voor tuinbouw onder glas, Naaldwijk, 14 pp.

Sonneveld, C. y W. Voogt. 1990. Response of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) to an unequal distribution of nutrients in the root environment. Plant and Soil 124: 251-256.

SQM México Folleto. Fundamentos básicos de nutrición vegetal aplicados a la producción de hortalizas.

Voogt, W. 1993. Nutrient uptake of year round tomato crops. *Acta Horticulturae* 339, p 99-112.

Voogt, W. 2002. Potassium management of vegetables under intensive growth conditions. In: Pasricha N.S y Bansal S.K. (eds.). Potassium for sustainable crop production. International Potash Institute, Bern, 347-362.

Voogt, W. y C. Sonneveld. 1998. Nutrient management in closed growing systems for greenhouse production. In: Goto *et al.* Plant Production in Closed Ecosystems, Kluwer ac. press.

Wallace, T. 1951. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. 2nd ed. 107 pp. HMSO Lond.

White, H.L. 1938. Observations of the effect of nitrogen and potassium on the fruiting of the tomato. *Ann Appl Biol* 25, 20-49.

Winsor, G.W. 1966. A note on the rapid assessment of "boxiness" in studies of tomato fruit quality. *Rep Glasshouse Crops Res Inst* 1965, 124-127.

Winsor, G.W. 1979. Some factors affecting the quality and composition of tomatoes. *Acta Hort* 93, 335-346.

Winsor, G.W., J.N. Davies y J.H.L. Messing. 1958. Studies on potash/nitrogen ratio in nutrient solutions, using trickle irrigation equipment. *Rep Glasshouse Crops Res Inst* 1957, 91-98.

Winsor, G.W. y M.I.E. Long. 1967. The effects of nitrogen, phosphorus, potassium and lime in factorial combination on ripening disorders of glasshouse tomatoes. *J. Hort Sci* 42, 391-402.

Winsor, G.W. y M.I.E. Long. 1968. The effects of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and lime in factorial combination on size and shape of glasshouse tomatoes. *J. Hort Sci* 43, 323-334.

Xu, G., S. Wolf y U. Kafkafi. 2001. Effect of varying nitrogen form and concentration during growing season on sweet pepper flowering and fruit yield. *Journal of Plant Nutrition* 24 (7): 1099-1116.



**SQM S.A.**

Los Militares 4290
Las Condes, Santiago, Chile
Tel: (56 2) 425 2000
Fax: (56 2) 425 2416
E-mail: spn-chile@sqm.com

Socimich Comercial S.A.

Los Militares 4290, Piso 3
Las Condes, Santiago, Chile
Tel: (56 2) 425 2525
Fax: (56 2) 425 2266
E-mail: servicioalcliente@sqm.com

SQM Brasil

Alameda Tocantins 75, Sexto Andar
Alphaville, Barueri, CEP, 06455-020
Sao Paulo, Brasil
Tel: (55 11) 413 37210
Fax: (55 11) 413 37205
E-mail: spn-brasil@sqm.com

SQM Ecuador S.A.

Avda. Juan Tanca Marengo y Avda. José
Orrantía, Edificio Executive Center, Piso 3
Of. 307, Guayaquil, Ecuador
Tel & Fax: (593 4) 269 0639
E-mail: spn-ecuador@sqm.com

SQM Perú S.A.

Avda. Camino Real N° 348
Oficina 701, Torre el Pilar
San Isidro, Lima, Perú
Tel: (511) 611 2121
Fax: (511) 611 2122
E-mail: servicioalclienteperu@sqm.com

SQM Comercial de México S.A. de C.V.

Industria Eléctrica s/n Lote 30, Manzana A
Parque Industrial Bugambilias, C.P. 45645,
Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México
Tel: (52 33) 354 01100
Fax: (52 33) 354 01101
E-mail: infomexico@sqm.com.mx

SQM North America

3101 Towercreek Parkway
Suite 450, Atlanta, GA 30339 USA
Tel: (1 770) 916 9400
Fax: (1 770) 916 9401
E-mail: spn-northamerica@sqm.com

SQM Europe, Middle East & Africa

Sint Pietersvliet 7, bus 8
2000 Antwerpen - Belgium
Tel: (32 3) 203 9700/20
Fax: (32 3) 203 9772
E-mail: spn-emea@sqm.com

SQM China

C610, Beijing Lufthansa Center, N°50
Liangmaquiao Road, Chaoyang District, Beijing.
Tel: (86 10) 84618950
Fax: (86 10) 84540885
E-mail: spn-china@sqm.com

SQM Asia Pacific

Sint Pietersvliet 7, bus 8
2000 Antwerpen - Belgium
Tel: (32 3) 203 9700/20
Fax: (32 3) 203 9772
E-mail: spn-asia@sqm.com