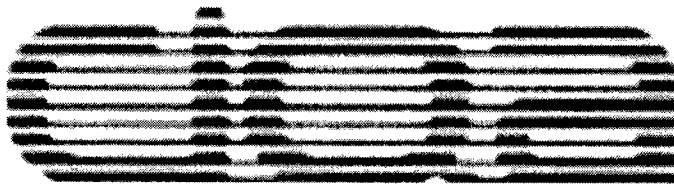


CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**SÍNTOMAS Y CAUSAS DE LA DEFICIENCIA DE CALCIO
EN EL CULTIVO DE TOMATE Y SU CONTROL**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCION: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

ING. TEÓDULO HERRERA VÁSQUEZ



CENTRO DE INFORMACIÓN

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

26 OCT 2007

AGOSTO 2007.

RECIBIDO

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:

**SÍNTOMAS Y CAUSAS DE LA DEFICIENCIA DE CALCIO
EN EL CULTIVO DE TOMATE Y SU CONTROL**

PRESENTADO POR:

ING. TEÓDULO HERRERA VÁSQUEZ

REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCION: AGROPLASTICULTURA

HA SIDO DIRIGIDO POR:

M.C. BOANERGES CEDEÑO RUBALCAVA

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

AGOSTO 2007.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



A TRAVES DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO:

SÍNTOMAS Y CAUSAS DE LA DEFICIENCIA DE CALCIO EN EL CULTIVO DE TOMATE Y SU CONTROL

QUE PRESENTA:

ING. TEÓDULO HERRERA VÁSQUEZ

HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCION: AGROPLASTICULTURA

PRESIDENTE

M.C. ROSARIO QUEZADA MARTIN

VOCAL

M. C. JUANITA FLORES VELÁZQUEZ

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

AGOSTO 2007.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	2
REVISION DE LITERATURA.....	3
Limitantes de la Producción.....	3
Factores Climáticos y Culturales que Afectan la Producción.....	3
Temperatura.....	4
Humedad Relativa.....	4
Luminosidad.....	4
Labores Culturales.....	5
Marcos de Plantación.....	5
Transplante.....	5
Riego.....	5
Fertirrigación.....	6
Entutorado.....	7
Poda de Tallos, Hojas y Frutos.....	8
Plagas y Enfermedades.....	9
Control de Plagas y Enfermedades.....	9
Fisiopatías o Alteraciones Fisiológicas.....	9
Nutrición Mineral del Tomate.....	10
Solución Nutritiva (SN).....	12
Factores a Considerar en una Solución Nutritiva.....	13
Fuentes Minerales.....	13
Concentración de Cada Elemento Mineral.....	13
Interacción de Iones.....	14
Conductividad Eléctrica (CE) de la Solución Nutritiva.....	14
pH de la Solución Nutritiva.....	15
Relación $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$	16
Temperatura en la Solución Nutritiva.....	17
El Calcio en el Suelo.....	17
El Calcio en el Cultivo de Tomate.....	18
Funciones del Calcio en la Planta.....	18

Absorción, Transporte y Distribución del Calcio en la Planta.....	20
El Calcio en el Fruto.....	23
Síntomas de la Deficiencia de Calcio.....	25
Pudrición Apical.....	26
Síntomas de la Pudrición Apical.....	27
Factores Causantes y su Influencia en la Incidencia de la Pudrición Apical.....	28
ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.....	34
AREAS DE OPORTUNIDAD.....	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	42
NOMENCLATURA.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales plagas que afectan al tomate.....	9
Cuadro 2. Principales enfermedades y fisiopatías que afectan al tomate.....	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Factores ambientales que influyen la incidencia de la pudrición apical en fruta de tomate (Ho, 1998b; Adams. 2002).....	31
Figura 2. Efectos de los tratamientos nutricionales y las aspersiones de calcio en la incidencia del la pudrición apical en los tomates de racimo ('Mariella') producidos en hidroponía.....	34
Figura 3. Hipótesis planteada por Ho y White (2005).....	38

INTRODUCCIÓN

El tomate es una de las principales hortalizas cultivadas y remunerable para los productores además de ser una de las que genera mayores divisas en el País al ser exportada, para el 2005 se cultivaron 74, 354.56 ha entre los principales estados productores destacan: Sinaloa con 26,489.50 ha, San Luís Potosí con 6,634.35 ha, Baja California con 5,708.00 ha y el resto de la producción se encuentra distribuida en los de más estados ya que esta hortaliza se cultiva en todo el país (SIAP, 2007).

El tomate puede estar desarrollándose bajo cualquier tipo de tecnología, desde los cultivos silvestres en zonas de altas precipitaciones y pasando por un sistema de campo abierto con y sin acolchado, mallas sombras e invernaderos tecnificados. No importando el grado de tecnificación que se use, existe un gran número de limitantes de producción lo que dificulta el manejo, requiriendo de capacidad y conocimientos para mejorar los rendimientos y disminuir las perdidas por plagas, enfermedades, mal manejo cultural del cultivo dependiendo también del sistema de producción que se esté utilizando, la nutrición y la comercialización, entre otros estos son los aspectos mas relevantes a considerar para la producción de las hortalizas mas cotizadas en el mercado. El descuido de alguno de estos aspectos nos puede reducir la producción o pérdida de la cosecha.

Sin menospreciar ninguno de los aspectos mencionados anteriormente y considerándolos como un conjunto donde se habrá que cuidar a todos y cada uno de ellos, el manejo de la nutrición tiene una relevancia que se debe considerar; un cultivo con una buena nutrición tendrá mayores posibilidades de resistir el ataque de patógenos o a la variación de climas adversos así como a la falta de agua.

La cantidad de oferta que se presenta en el mercado durante algunos periodos del año hace que los precios del tomate puedan variar en mas del 100% siendo las épocas de menor oferta cuando se alcanzan los mejores precios, dependiendo la región esto será una oportunidad o una limitante para el producto, sin embargo a pesar de eso la buena calidad del producto también podría marcar una diferencia en el precio al que podamos acceder.

Uno de los principales problemas en la producción de tomate en campo abierto o en invernadero es la pudrición apical de la fruta, asociada con la deficiencia de calcio (Ca) y atribuido a niveles bajos en la fruta. Esto ocurre hasta cierto punto dondequiera que se produzca tomate. La pérdida de la producción puede llegar a ser mayor del 50 por ciento, dependiendo del año, de la variedad, del método de cultivo, del tiempo y de la localización. En cada planta pueden ser afectadas pocas o muchas frutas (Taylor y Locascio, 2004).

OBJETIVOS

- 1 Determinar las funciones principales del calcio en el desarrollo del cultivo de tomate para poder conocer la parte de la planta que son más susceptibles a mostrar deficiencia.
- 2 Identificar los síntomas asociados a la deficiencia de calcio en el cultivo de tomate.
- 3 Determinar las causas que originan la deficiencia de calcio.
- 4 Establecer las posibles soluciones para eliminar la deficiencia.

REVISIÓN DE LITERATURA

Taxonómicamente, el tomate pertenece a la familia de las solanáceas (Solanaceae), y su nombre científico es *Lycopersicon esculentum* Mill. L. Se trata de uno de los cultivos de mayor interés a escala global. Es una planta cultivada normalmente como anual sobre diferentes tipos de suelos y bajo influencia de climas muy diferentes, aunque el desarrollo de técnicas de cultivo en donde se engloba el uso de los plásticos en la agricultura ha favorecido su producción continua durante todo el año. Su alto contenido de nutrientes, vitaminas y carotenos hacen del fruto de esta hortaliza indispensable para la dieta humana. El tomate se ha convertido en un cultivo de enorme valor económico por su consumo en fresco o procesado.

Limitantes de la Producción

El manejo racional de los factores limitantes en forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la importancia que se le de a uno incidirá sobre el resto, afectando así la productividad.

En condiciones de campo y bioespacios, las condiciones climáticas, agua, nutrición o falta de protección contra malezas, plagas y enfermedades, todas en conjunto o de manera particular pueden ser limitantes. No obstante el manejo del cultivo, del agua y la nutrición (fertirrigación) vine a ser uno de los impedimentos más importantes para alcanzar elevados rendimientos y calidad del tomate (Muñoz, 2003).

Factores Climáticos y Culturales que Afectan la Producción

La productividad de los cultivos de tomate en cierto grado suele estar limitada por la temperatura, humedad relativa, luz, malas labores culturales, plagas y enfermedades, así como el abastecimiento de agua (riegos) y la nutrición del cultivo. A gran escala, la importancia relativa de estos factores dependen de la latitud y a nivel regional o área depende de la fisiografía y condiciones ambientales del lugar (Muñoz, 2003).

Temperatura

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 23 y 25 °C durante el día y entre 15 y 17 °C durante la noche; temperaturas superiores a los 30 °C afectan la fructificación, por el mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general pudiéndose presentar algunos desórdenes fisiológicos. Temperaturas inferiores a 8 °C también originan problemas en el desarrollo de la planta y a 0 °C se hiela (Muñoz, 2003).

La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10 °C así como superiores a los 30 °C originan tonalidades amarillentas. No obstante, los valores de temperatura descritos son meramente indicativos, debiendo tener en cuenta las interacciones de la temperatura con el resto de los parámetros climáticos (InfoAgro, 2007).

Humedad Relativa

La humedad relativa óptima oscila entre un 65 % y un 70 %. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas así como el agrietado del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Boris, 2004).

Luminosidad

La cantidad de luz y fotoperiodo no son tan importantes para el crecimiento del tomate como la radiación integral diaria (Muñoz, 2003). Sin embargo valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad (InfoAgro, 2007). En el cultivo protegido, tratar de superar las limitaciones de luz a nivel comercial, económicamente rara vez se justifica. Por lo que generalmente es mejor maximizar la iluminación natural poniendo especial atención en el material y limpieza de las cubiertas de los invernaderos, un diseño cuidadoso, una óptima orientación invernal del invernadero y del cultivo dentro de éste (Muñoz, 2003).

Labores Culturales

Las labores culturales son aquellas consideradas de uso común dentro del ciclo productivo, son todo tipo de labores que permiten la óptima el desarrollo del cultivo y la producción final.

Marcos de Plantación

El marco de plantación se establece en función del porte de la planta, que a su vez dependerá de la variedad comercial cultivada. El más frecuentemente empleado es de 1.5 metros entre líneas y 0.5 metros entre plantas, aunque cuando se trata de plantas de porte medio es común aumentar la densidad de plantación a 2 plantas por metro cuadrado con marcos de 1 m x 0.5 m. Cuando se tutoran las plantas con perchas las líneas deben ser “pareadas” para poder pasar las plantas de una línea a otra formando una cadena sin fin, dejando pasillos amplios para la bajada de perchas (aproximadamente de 1.3 m) y una distancia entre líneas conjuntas de unos 70 cm (InfoAgro, 2007).

Transplante

Es el paso de la planta desde el semillero al asiento definitivo del cultivo. En el cultivo en suelo, se da un riego abundante previo al transplante para humedecer el terreno, desplazar sales, bajar CE. Posteriormente se abren los hoyos, se deposita y se fija la planta, debe haber un buen contacto entre el suelo y el cepellón de la plántula. Posteriormente se da un riego de asiento para asegurar un buen contacto entre la humedad del suelo y el cepellón (Muñoz, 2003). Las plantas se transplantan cuando alcanzan una altura de 10 a 12 cm. y su tallo tiene más de 0.5 cm de diámetro se considera que ya están listas para el trasplante, esto ocurre aproximadamente entre los 22-27 días después de la siembra en semillero (Boris, 2004).

Riego

La frecuencia y volumen de riegos debe adaptarse a los sistemas de cultivo y de riego disponibles, al tipo de sustrato usado o suelo (volumen y características físico-químicas), al cultivo (especie y estado fenológico) y a las condiciones climáticas existentes en cada momento.

Es obvio que las necesidades hídricas varían notablemente a lo largo del día y de un día para otro. En un cultivo tan tecnificado como el hidropónico no podemos permitir que las plantas sufran estrés hídrico que afecte su rendimiento final o despilfarros de solución nutritiva (agua y fertilizantes). Es necesario que las plantas reciban toda y nada más que el agua necesaria y en el momento que la precisan. La programación horaria de los riegos no es actualmente un método válido, por muy ajustados que éstos sean, un día nublado puede implicar exceso de aporte respecto a la cantidad de agua necesaria y un día excepcionalmente caluroso se traduciría en déficit hídrico temporal para la plantación. Actualmente existen en el mercado numerosos métodos capaces de solucionar este problema, son los denominados métodos de riego por demanda, sensores de radiación (solarímetros) que disparan el riego al alcanzar cierto valor de radiación acumulada, unidades evaporimétricas y tensiómetros que actúan de un modo similar, etc. El sistema más extendido y que ofrece excelentes resultados es la instalación de una bandeja de riego por demanda. Este dispositivo consta de una bandeja soporte sobre la que se sitúa el sustrato (generalmente dos unidades) con sus plantas correspondientes, el agua de drenaje se acumula en la parte más baja de la bandeja (que lleva un orificio para desalojar parte del excedente drenado) donde se sitúan uno o varios electrodos que accionan el riego cuando los procesos evaporativos y de succión directa de las raíces así lo indican. Este sistema permite la obtención del drenaje prefijado de forma uniforme lo que evita despilfarros de agua y fertilizantes o estrés salino temporal si el drenaje estimado es el idóneo, ya que el aporte hídrico se corresponderá con la evapotranspiración que en cada momento sufra la planta (Alarcón, 1996).

Fertirrigación

En los cultivos protegidos de tomate el aporte de agua y gran parte de los nutrientes se realiza de forma generalizada mediante riego por goteo y va ser función del estado fenológico de la planta así como del ambiente en que ésta se desarrolla (tipo de suelo, condiciones climáticas, calidad del agua de riego, etc.) (InfoAgro, 2007).

En cultivo en suelo y en enarenado; el establecimiento del momento y volumen de riego vendrá dado básicamente por los siguientes parámetros:

1. Tensión del agua en el suelo (tensión mátrica), que se determinará mediante un manejo adecuado de tensiómetros, siendo conveniente regar antes de alcanzar los 20-30 centibares.
2. Existe otra técnica empleada de menor difusión que consiste en extraer la fase líquida del suelo mediante succión a través de una cerámica porosa y posterior determinación de la conductividad eléctrica (InfoAgro, 2007).

En cultivo hidropónico el riego está automatizado y existen distintos sistemas para determinar las necesidades de riego del cultivo, siendo el más extendido el empleo de bandejas de riego a la demanda. El tiempo y el volumen de riego dependerán de las características físicas del sustrato (InfoAgro, 2007).

Entutorado

Es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y sobre todo los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales (destallado, recolección, etc.). Todo ello repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades (Muñoz, 2003).

La sujeción suele realizarse con hilo de polipropileno (rafia) sujeto de un extremo a la zona basal de la planta (liado, anudado o sujeto mediante anillas) y de otro a un alambre situado a determinada altura por encima de la planta (1,8-2,4 m sobre el suelo). Conforme la planta va creciendo se va liando o sujetando al hilo tutor mediante anillas, hasta que la planta alcance el alambre. A partir de este momento existen tres opciones:

- Bajar la planta descolgando el hilo, lo cual conlleva un coste adicional en mano de obra. Este sistema está empezando a introducirse con la utilización de un mecanismo de sujeción denominado “holandés” o “de perchas”, que consiste en colocar las perchas con hilo enrollado alrededor de ellas para ir dejándolo caer conforme la planta va creciendo, sujetándola al hilo mediante clips. De esta forma la planta siempre se desarrolla hacia arriba, recibiendo el máximo de luminosidad, por lo que incide en una mejora de la calidad del fruto y un incremento de la producción.

- Dejar que la planta crezca cayendo por propia gravedad.
- Dejar que la planta vaya creciendo horizontalmente sobre los alambres del emparrillado.

(InfoAgro, 2007).

Poda de Tallos, Hojas y Frutos

La poda es una práctica obligada en variedades de tomate de crecimiento indeterminado. Cuando se dejan dos tallos por planta, pueden ser desde el semillero despuntando el tallo principal por encima de las hojas de los cotiledones, para que de las axilas de éstas salgan los brotes que serán los tallos principales. De lo contrario se deja el brote inmediato inferior del primer ramillete, estos brotes tienen un mayor vigor, por lo que se deben utilizar para generar un nuevo tallo en caso de que la planta vecina haya fallado, para este fin y otros se pueden manipular y sacar ventaja de ellos. No obstante si no se podan oportunamente los brotes axilares a destiempo se convierten en problemas y disminución del rendimiento ya que debilitan el tallo principal. (Muñoz, 2003).

La poda de hojas, consiste en eliminar las senescentes e inferiores y enfermas ubicadas debajo del último racimo que va madurando o pintando color. El corte de la hoja debe ser limpio y al ras del tallo principal para evitar la entrada de patógenos (botrytis). La poda de hojas debe ser equilibrada. Con el deshojado se consigue mayor ventilación, mayor entrada de luz y mejor color de los frutos (Muñoz, 2003).

El número de frutos por ramillete indica el tamaño final de los mismos. En inflorescencias con gran número de flores es necesario despuntarlos, para que los frutos desarrollen buen tamaño y también para evitar que se desprenda el ramillete. La poda de frutos debe ser tan oportuna como sea posible, poco después de que los frutos han sido cuajados. Se eliminan todos aquellos malformados, así como los que relativamente llevan un retraso significativo con respecto al resto. En variedades de racimo solo se dejan de 5 a 6 frutos y en variedades empleadas para producir de exportación solo se dejan 3 frutos por racimo para obtener buenos calibres de fruta, alcanzando un mejor precio en el mercado. Esto disminuye ligeramente el rendimiento pero se recupera con el pago de mejor precio por la fruta (Muñoz, 2003).

Plagas y Enfermedades

Cuadro 1. Principales plagas que afectan al tomate.

Insectos		Acaros	Nemátodos
Chupadores	Afidos/pulgones	Acaro Blanco	
	Mosca blanca	Araña roja	
	Paratrioza		
	Trips		
Masticadores	Orugas y Gusanos		
Minadores	Minador de la hoja		Nematodo de la raíz

(Productores de Hortalizas, 2006).

Cuadro 2. Principales enfermedades y fisiopatías que afectan al tomate.

Bacterianas	Fungosas	Virales	Fisiopatías
Cáncer bacteriano	Antracnosis	TMV	Pudrición apical
Mancha bacteriana	Cáncer del tallo / Alternaria	ToMV	Golpe de sol
	Cenicilla	TYLCV	Rajado de frutos
Mancha negra del tomate	Fusarium	CMV	Jaspeado
Marchitez bacteriana	Mancha gris de la hoja	PVY	Carencia o exceso de nutrientes
	Moho gris	TBSV	Toxicidad de pesticidas
	Moho blanco	TSWV	
	Tizón temprano		
	Tizón tardío		
	Verticillium		

(Productores de Hortalizas, 2006).

Control de Plagas y Enfermedades

Para un buen control de éstas es necesario hacer uso del manejo integrado en donde se empleen diferentes métodos de control, iniciando desde una buena desinfección y preparación del suelo, haciendo uso de las diferentes técnicas de semiforzado de cultivos cuya finalidad sea evitar plagas y enfermedades, usando como último recurso el control químico. (Productores de Hortalizas, 2006).

Fisiopatías o Alteraciones Fisiológicas

Los desórdenes fisiológicos son enfermedades abióticas que causan una serie de anomalías internas en diferentes estructuras de la planta, generalmente son causadas por fenómenos climatológicos, deficiencias o excesos nutrimentales u hormonales, exceso o carencia de humedad y temperaturas altas o bajas (Muñoz, 2003).

Nutrición Mineral del Tomate

La nutrición mineral es una rama muy importante de la fisiología vegetal. Las plantas necesitan, para el desarrollo de su ciclo vital, de una serie de elementos químicos (16) que se denominan elementos nutritivos. Todos estos elementos son de igual importancia pero unos los necesita en mayores cantidades llamándose macroelementos y los que son requeridos en menor cantidad son llamados microelementos. Cada elemento tiene una función sin importar la cantidad requerida, al haber una carencia de alguno de los elementos, el desarrollo óptimo de la planta se verá limitado. (Lozano y Calderilla, 2006).

En la nutrición, cabe destacar la importancia de la relación N/K a lo largo de todo el ciclo de cultivo, que suele ser de 1:1 desde el trasplante hasta la floración, cambiando hasta 1:2 e incluso 1:3 durante el período de recolección. En el cultivo del tomate en racimo el papel del potasio en la maduración del fruto es esencial, pudiéndose emplear en forma de nitrato potásico, sulfato potásico, fosfato monopotásico o mediante quelatos (InfoAgro, 2007).

La adición de inhibidores de la nitrificación ralentizan, la oxidación de amonio a nitrato, de manera que el amonio se mantiene durante más tiempo en el suelo, ya que este tipo de fertilizantes afectan a las bacterias que participan en este proceso. De esta manera el nitrógeno se suministra de forma gradual, ya que se adapta a las necesidades de cada cultivo a lo largo de su periodo de desarrollo y disminuyen las pérdidas de nitrato por lixiviación y desnitrificación, pues el efecto contrario tiene lugar con la adición de abonos minerales con elevado contenido en nitrógeno amoniacal (InfoAgro, 2007).

El fósforo juega un papel relevante en las etapas de enraizamiento y floración, ya que es determinante sobre la formación de raíces y sobre el tamaño de las flores. En ocasiones se abusa de él, buscando un acortamiento de entrenudos en las épocas tempranas en las que la planta tiende a ahilarse. Durante el invierno hay que aumentar el aporte de este elemento, así como de magnesio, para evitar fuertes carencias por enfriamiento del suelo (InfoAgro, 2007).

El calcio es otro macroelemento fundamental en la nutrición del tomate para evitar la necrosis apical (blossom end rot), ocasionado normalmente por la carencia o bloqueo del calcio generalmente atribuido a diferentes factores (InfoAgro, 2007).

Entre los microelementos de mayor importancia en la nutrición del tomate está el hierro, que juega un papel primordial en la coloración de los frutos y en menor medida en cuanto a su empleo, se sitúan manganeso, zinc, boro y molibdeno (InfoAgro, 2007).

A la hora de fertilizar, existe un margen muy amplio de fertilización en el que no se aprecian diferencias sustanciales en el cultivo, pudiendo encontrar “recetas” muy variadas y contradictorias dentro de una misma zona, con el mismo tipo de suelo y la misma variedad. No obstante, para no cometer grandes errores, no se deben sobrepasar dosis de abono total superiores a 2 g.l^{-1} , siendo común aportar 1 g.l^{-1} para aguas de conductividad próxima a 1 mS.cm^{-1} (InfoAgro, 2007).

Actualmente se emplean básicamente dos métodos para establecer las necesidades de fertilización:

- 1 En función de las extracciones del cultivo, sobre las que existe una amplia y variada bibliografía.
- 2 En base a una solución nutritiva “ideal” a la que se ajustarán los aportes previo análisis de agua. Este método es el que se emplea en cultivos hidropónicos y para poder llevarlo a cabo en suelo o en enarenado, requiere la colocación de sondas de succión para poder determinar la composición de la solución del suelo mediante análisis de macro y micronutrientes, CE y pH (InfoAgro, 2007).

Los fertilizantes de uso más extendidos son los abonos simples en forma de sólidos solubles (nitrato cálcico, nitrato potásico, nitrato amónico, fosfato monopotásico, fosfato monoamónico, sulfato potásico, sulfato magnésico) y en forma líquida (ácido fosfórico, ácido nítrico), debido a su bajo costo y a que permiten un fácil ajuste de la solución nutritiva, aunque existen en el mercado abonos complejos sólidos cristalinos y líquidos que se ajustan adecuadamente, solos o en combinación con los abonos simples, a los equilibrios requeridos en las distintas fases de desarrollo del cultivo (InfoAgro, 2007).

El aporte de microelementos, resulta vital para una nutrición adecuada, pudiendo encontrar en el mercado una amplia gama de sólidos y líquidos en forma mineral y en forma de quelatos, cuando es necesario favorecer su estabilidad en el medio de cultivo y su absorción por la planta (InfoAgro, 2007).

La clorosis férrica es característica de especies que crecen en suelos calizos. La deficiencia en hierro acorta el ciclo vital de las plantas, los rendimientos disminuyen y los frutos son de peor calidad. El quelato férrico, es una de las mejores soluciones para combatir la clorosis férrica, pero tienen un elevado precio, por ello si se disminuyen las cantidades de quelato que se aplican se reducirían costos y aumentarían los beneficios (InfoAgro, 2007).

También se dispone de numerosos correctores de carencias tanto de macro como de micronutrientes que pueden aplicarse vía foliar o riego por goteo, aminoácidos de uso preventivo y curativo, que ayudan a la planta en momentos críticos de su desarrollo o bajo condiciones ambientales desfavorables, así como otros productos (ácidos húmicos y fúlvicos, correctores salinos, etc.), que mejoran las condiciones del medio y facilitan la asimilación de nutrientes por la planta. Las sustancias húmicas complejan la mayoría de los metales presentes en el suelo, aumentando su disponibilidad en las plantas. Los aminoácidos también juegan un papel importante en la captación de nutrientes. (InfoAgro, 2007).

Solución Nutritiva (SN)

En el cultivo tradicional, el agua de riego disuelve los elementos nutritivos presentes en el suelo; obteniéndose así la solución nutritiva que las plantas absorben. Una solución nutritiva se define como una mezcla de sales en solución acuosa que contiene todos los elementos esenciales en concentraciones adecuadas, pudiendo ser modificada de acuerdo a los requerimientos de las plantas obteniendo así un mejor desarrollo (Rodríguez, 2002). En sistemas hidropónicos, las necesidades nutrimentales de las plantas son satisfechas con los nutrientes que se aportan a través de la SN mientras que en cultivo en suelo la cantidad requerida por las plantas es cubierta por lo que contenga el suelo más la SN, que sin duda es una limitante en la cual se tendrá que poner exclusiva atención, ya que durante su

preparación, manejo y la cantidad de los elementos empleados en la misma, existieran factores de influencia directa que limitarán la disponibilidad, la reacción, interacción y relación entre los iones así como la absorción, para que el funcionamiento metabólico de la planta sea adecuado y su desarrollo óptimo, es necesario que las sustancias nutritivas se encuentren en equilibrio (Lara, 1999). Un exceso o déficit origina plantas débiles sin embargo un cultivo con una buena nutrición tendrá mayores posibilidades de resistir el ataque de patógenos o a la variación de climas adversos así como a la falta de agua (Velasco, 1999).

Factores a Considerar en una Solución Nutritiva

Los factores de la solución nutritiva que tienen mayor influencia en la producción de tomate son: la interacción entre iones, concentración de cada elemento mineral, conductividad eléctrica (CE), el pH, la relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ y la temperatura como condición climática, otros autores mencionan que es importante la fuente de donde se aporten los elementos. No existe una SN que sea apropiada para cualquier condición, los factores dependen de las condiciones del ambiente, las características genéticas y la etapa de desarrollo de la planta. El pH y la temperatura para cualquier condición debe ser mantenida en sus rangos óptimos. En un inapropiado manejo de la SN cualquier factor o la interacción entre ellos, afecta la nutrición de la planta y por ende, el rendimiento y la calidad de los frutos (Lara, 1999, Barry, 2000 y Rodríguez 2002).

Fuentes Minerales. Los minerales esenciales son suministrados como compuestos químicos; unos aportan más que otros. Sin embargo para elegir las fuentes se consideran diferentes aspectos como la pureza, solubilidad, los elementos que contenga, todo ello para evitar reacciones o problemas en la solución (Barry, 2000 y Rodríguez 2002).

Concentración de Cada Elemento Mineral. Esta concentración es esencial en una solución nutritiva y depende de varios factores. El tipo de planta cultivada, habiendo diferencias entre variedades de la misma especie en particular puede tener diferentes requerimientos minerales en comparación con otras variedades. La etapa de crecimiento de la planta también afecta los requerimientos minerales, ya que dependiendo de ésta será la cantidad requerida de algún elemento en especial. A la absorción de nutrientes también la afectan las condiciones medioambientales como la temperatura, humedad o la cantidad de

luz que incide en el cultivo. Como consecuencia de esto resulta imposible establecer una lista de cada elemento con un nivel exacto para cada mineral, pudiendo ser ajustada (Barry, 2000 y Rodríguez, 2002).

Interacción de Iones. Los iones entre sí presentan afinidades y por ende la capacidad de reaccionar entre sí para formar compuestos insolubles que no permiten alcanzar las concentraciones requeridas para ello y que son constantes a una temperatura dada. Existe una interdependencia entre las actividades de la raíz y la parte aérea de las plantas. El orden de absorción de los cationes obedece al número de cargas con que cuentan y a la cantidad en que se encuentren presentes.

A continuación presentamos una secuencia de absorción preferente (cuando las concentraciones son las mismas) para los cationes $Al^{+2} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+ = NH_4^+ > Na^+$; en el caso de los aniones tenemos que el orden es $OH^- > H_2PO_4^- > SO_4^- = NO_3^-$ (Cepeda, 1991).

Conductividad Eléctrica (CE) de la Solución Nutritiva. La CE de una solución nutritiva es una medida de fuerza de la solución. Los niveles de CE recomendados para todos los cultivos han ido descendiendo progresivamente en los últimos años. Existe una relación directa entre la concentración de nutrientes y la CE en la solución nutritiva. Al aumentar la CE, la planta debe destinar mayor energía para absorber agua y nutrientes (Ehret y Ho, 1986a). Este desgaste de energía puede ser en detrimento de energía metabólica. El conjunto de estos fenómenos puede ser reflejado en una disminución del desarrollo de la planta.

En la medida que la solución nutritiva aumenta su CE, disminuye la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes. Pero una solución nutritiva con CE menor que la que requieren las plantas, puede inducir deficiencias nutrimentales. Al aumentar la CE a más de 6 dS m^{-1} , además de inducir una deficiencia hídrica, aumenta la relación K^+ : ($K^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2} + NH_4^+$), ocasionando desbalances nutrimentales. No todos los nutrientes son afectados en igual medida. Los que se mueven por flujo de masas, como el Ca^{+2} y en menor medida el Mg^{+2} se absorben en menor cantidad, de esta manera se puede inducir deficiencia de Ca^{2+} (Ehret y Ho, 1986b).

Para elegir la solución nutritiva apropiada en cada caso, deben tomarse en cuenta las condiciones del ambiente. Debido a la relación existente entre la absorción de Ca^{+2} y de agua por parte de la planta, la interacción de los factores ambientales y la interacción de los cationes tienen gran influencia en la nutrición de las plantas. En tomate, al aumentar la presión de vapor en la atmósfera, disminuye el flujo de transpiración y por ende, la absorción de Ca^{+2} , si además la solución nutritiva tiene una relación Ca^{+2} : ($\text{K}^{+} + \text{Mg}^{+2} + \text{NH}_4^{+}$) baja (menor que 40:60) es muy probable que se manifiesten algunos problemas fisiológicos derivados de un desbalance nutricional, como es el caso de la pudrición apical (Adams y Ho, 1993).

La respuesta que presentan las plantas a la CE es diferente, existen variedades de tomate adaptadas para ser nutridas con soluciones de CE elevada, lo cual permite su explotación con aguas salinas, no aptas para ser usadas en campo (Satti *et al.*, 1994) y en 1996 reportan que al aumentar la CE de la SN se obtiene, a costa de un menor rendimiento, un incremento en la calidad de los frutos: firmeza, contenido de sólidos solubles y acidez titulable.

pH de la Solución Nutritiva. El pH es la forma de medir el grado de acidez de una solución nutritiva. Hidropónicamente, la planta se comporta mejor si la solución es ligeramente ácida; esto significa un pH entre 5.5 y 6.5. Fuera de este rango algunos minerales, aunque estén presentes en la solución, no estarán disponibles para ser absorbidos por las raíces. Esto por supuesto afectará a la planta. Si el pH de la solución está lejos del rango recomendado, entonces algunos de los minerales de la solución y nunca estarán disponibles para la planta (Barry, 2000).

El pH de la solución nutritiva es una propiedad inherente de la composición mineral (De Reijck y Schrevens, 1998). El pH óptimo de la solución es entre 5.5 y 6.0, lográndose de la manera siguiente:

Regular el contenido de HCO_3^{-} . En forma natural el agua contiene HCO_3^{-} , este ion se transforma a CO_3^{-2} cuando el pH es mayor que 8.3, ó a $\text{H}_2\text{CO}_3^{-}$ cuando el pH es menor que 3.8, este ácido en la solución se encuentra en equilibrio químico con el bióxido de carbono de la atmósfera ($\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$). A pH mayor que 8.3 el Ca^{+2} y el Mg^{+2}

se precipitan fácilmente en forma de carbonatos. Una concentración de HCO_3^- mayor que 10 mol m^{-3} puede ser tóxica para las plantas (Ayers y Westcot, 1987, citado por Lara, 1999). La forma de disminuir el contenido de este ion es neutralizándolo con un ácido fuerte, por ejemplo: H_2SO_4 ó HNO_3 .

El pH tiene influencia en otros aspectos que se tienen que considerar en la solución nutritiva tales como:

Solubilizar al H_2PO_4^- . La principal forma en que el fósforo es absorbido por las plantas es H_2PO_4^- . Al igual que el HCO_3^- , el H_2PO_4^- está sujeto a cambiar a otras formas derivadas de la disociación del H_3PO_4 , en la medida que aumenta el pH aumenta el grado de disociación de este ácido. Entre el pH de 5.5 y 6.0 predomina el H_2PO_4^- , en relación con el H_3PO_4 ó al HPO_4^{2-} , pero en la medida que aumenta el pH aumenta la proporción de HPO_4^{2-} respecto a H_2PO_4^- . El HPO_4^{2-} se precipita con el Ca^{+2} cuando el producto de la concentración de estos dos iones, expresado en mol m^{-3} , es mayor que 2.2 en general, son estos dos iones los que precipitan en un intervalo más amplio de pH (De Reijck y Schrevens, 1998).

Evitar la precipitación de Fe^{+2} y Mn^{+2} . La solubilidad de estos dos iones también está en función del pH; en la medida que éste aumenta, la solubilidad de esos cationes disminuye. Para el caso del hierro, en hidroponía se recomienda el uso de la forma Fe^{+2} (reducida), la forma (oxidada) Fe^{+3} es menos soluble, ésta precipita como $\text{Fe}(\text{OH})^3$ (De Reijck y Schrevens, 1998). El Fe^{+2} tiende a oxidarse, una forma de controlar su solubilidad es evitando que el pH sea mayor que 6. Otra forma es aplicar el Fe^{+2} en forma de quelato.

Relación $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$. El NO_3^- es la principal forma química en que las plantas se abastecen de N; sin embargo, una pequeña fracción en la forma de NH_4^+ presenta algunos beneficios en la nutrición de las plantas de tomate. El pH de la solución nutritiva puede variar dependiendo de la relación en la absorción de aniones y de cationes, en la medida que las plantas absorben más aniones el pH aumenta. La principal causa de la variación de la relación en la absorción entre aniones y cationes depende de la forma química en que se administre el N en la solución nutritiva (Guill y Reisenauer, 1993, citado por Lara, 1999).

Temperatura en la Solución Nutritiva. La temperatura de la solución nutritiva influye en la absorción de agua y nutrimentos. La temperatura óptima para la mayoría de las variedades de tomate es de aproximadamente 22 °C, en la medida que la temperatura disminuye también disminuye la absorción y asimilación de los nutrimentos sin embargo es un factor que adquiere importancia en los lugares de clima templado. En las zonas templadas o frías, es conveniente tener un sistema de calefacción para la solución nutritiva. Es necesario evitar temperaturas menores que 15 °C para prevenir la reducción de la absorción de nutrimentos. Lo ideal es mantenerla lo más cercana posible al óptimo (Lara, 1999).

La temperatura de la solución debe estar dentro del rango correcto. Si la solución es muy fría, la tasa metabólica de la raíz baja y la absorción de nutrientes también. Esto conlleva un efecto de retardo en el crecimiento de la planta por debajo de lo deseado. Otros problemas surgen cuando la temperatura es muy alta, porque afecta la absorción mineral. El mejor rango de temperatura oscila entre 18 y 25°C para la mayoría de los cultivos. Los cambios bruscos de temperatura influyen evidentemente en el ritmo de absorción del agua y en el ritmo de absorción mineral. De acuerdo con esas condiciones, la planta regula su tasa de transpiración evitando así una pérdida excesiva de agua. La temperatura de la solución nutritiva también influye en la absorción de los nutrientes (Rodríguez, 2002).

El Calcio en el Suelo

El contenido medio de calcio en la corteza terrestre es 3.64%, el quinto elemento más abundante. El contenido en calcio de los diferentes tipos de suelo varía ampliamente dependiendo principalmente de los materiales de origen y del grado en que la meteorización y la lixiviación han influenciado el proceso de edafización. (Makeyev y Berggaut, 1989 citado por Alarcón *et al.*, 2006).

Una sustanciosa cantidad de calcio es adsorbido por los coloides inorgánicos y orgánicos del suelo, siendo usualmente el catión predominante en el complejo de cambio, bien es cierto que dada la fuerza con la que el Ca^{+2} es retenido por los coloides, sería deseable un porcentaje de ocupación del 70-80% de las posiciones de cambio por calcio, para tener un correcto equilibrio nutricional en la solución del suelo de la que se nutren las

raíces. Recordemos que el orden según la energía de adsorción a los coloides del suelo es $Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^{+} > Na^{+}$. El calcio cambiante es muy importante para la estructura del suelo, ya que provoca la floculación de los coloides del suelo, mejorando su estructura y estabilidad. La adsorción de los coloides orgánicos y especialmente, a los ácidos húmicos es específica, de tal forma que éstos se encuentran presentes principalmente como humatos de calcio (Alarcón., 2005).

La solubilización del carbonato cálcico, como la de otros minerales de calcio, así como la liberación del calcio de cambio depende de los procesos acidificantes del suelo. Es decir, el calcio es solubilizado por acción de los protones. Las fuentes de protones en suelos son CO₂ (procedente del agua de lluvia, respiración de los microorganismos, descomposición de la materia orgánica, etc.), nitrificación, azufre, raíces, lluvia ácida, etc. (Alarcón *et al.*, 2006).

En el caso de suelos alcalinos, la presencia de iones hidrógenos es prácticamente nula, dificultándose estos procesos de liberación del calcio y siendo, por tanto, recomendable utilizar agentes complejantes, potenciar la actividad de raíces, utilizar azufre o cualquier sistema acidificante, etc. (Alarcón *et al.*, 2006).

El Calcio en el Cultivo de Tomate

El calcio es un macroelemento esencial para el desarrollo de las plantas, siendo fundamental para que se realicen infinidad de funciones y es componente importante en la estructura y para el crecimiento de la planta, su gran importancia en el cultivo de tomate es debido a la frecuencia con la que ocurre una deficiencia de este elemento, causando pérdidas cuantiosas cuando ocurre en los frutos.

Funciones del Calcio en la Planta

El calcio, salvo quizá el boro, es el único nutriente que ejerce su función, principalmente, fuera de la célula vegetal. Su acción, como puente intermolecular, se desarrolla preferentemente en paredes celulares y membranas plasmáticas. Presenta, fundamentalmente, funciones estructurales, de fortalecimiento de las paredes celulares y de control de la permeabilidad e integridad de la membrana (Allan, 1993). Algunos proponen

que en tejidos con niveles adecuados de calcio, la oxidación de las células es inhibida por la quelación de los compuestos fenólicos del calcio Alarcón, *et al.* (2006).

Una de las principales funciones del calcio en la planta es la de actuar formando parte de la estructura de la protopectina de la lámina media y la pared primaria celular, como agente cementante (pectato cálcico) para mantener las células unidas. Estabiliza las membranas celulares, disminuyendo su permeabilidad, impidiendo la difusión de los componentes citoplásmicos y regulando la selectividad de la absorción iónica. Puede haber un intercambio entre el calcio y otros cationes como K^+ , Na^+ o H^+ por los lugares de fijación, pero éstos no pueden hacer de puentes y por tanto desestabilizan las membranas. Incluso el ión divalente magnesio no puede reemplazar al calcio en esta función (Alarcón, *et al.*, 2006).

En la lámina media de la célula, el calcio se encuentra unido al complejo de proteínas y pectinas, al que confiere resistencia frente al ataque por poligalacturonasas, enzimas responsables de su hidrólisis (Rees, 1977; Fry, 1988, citado por Alarcón, *et al.*, 2006). Además, el calcio está involucrado en la división y elongación celular (Bursttrún, 1968; Hepler y Wayne, 1985, citado por Alarcón, *et al.*, 2006), por lo que es muy importante en el desarrollo de las raíces. Es necesario para el crecimiento del tubo polínico que, además, es orientado quimiotrópicamente por los gradientes de calcio en el medio (Steer, 1989, citado por Alarcón, *et al.*, 2006). Regula la absorción de nitrógeno. Actúa en el transporte de azúcares y proteínas en el interior de la planta. Neutraliza ácidos orgánicos (oxalato cálcico).

Regula la acción de fitohormonas. Amortigua los efectos nocivos debidos al exceso de otros cationes como potasio, sodio o magnesio; de ahí sus efectos positivos en condiciones de salinidad, fundamentalmente debida al ión sodio (Jacoby, 1993; Cachorro *et al.*, 1994; Ortiz *et al.*, 1994, citado por Alarcón, *et al.*, 2006). Participa en el ahorro hídrico de la planta (papel contrario al potasio, al tender a disminuir la absorción de agua), regulando el movimiento de agua en las células.

A nivel celular, el calcio modula la actividad de más de 150 proteínas diferentes (Moncrief *et al.*, 1990, citado por Alarcón, *et al.*, 2006), como son α -amilasa, fosfolipasas,

NAD-quinasas, deshidrogenasas, polimerasas y ATPasas, en general, enzimas asociados a las membranas.

Absorción, Transporte y Distribución del Calcio en la Planta

El calcio es absorbido por las regiones jóvenes (insubерizadas) de las raíces de las plantas como Ca^{+2} . Su concentración en la planta puede variar desde 0.1% hasta porcentajes superiores al 5%, dependiendo de la especie vegetal, condiciones de cultivo y del órgano de la planta considerado, bien es cierto, que los requerimientos de calcio para monocotiledóneas son muy inferiores a los de dicotiledóneas. A pesar de que el calcio es absorbido en grandes cantidades y su contenido en los tejidos vegetales es elevado, la concentración de Ca^{+2} libre en el citoplasma y los cloroplastos es muy baja, del orden de $1. \mu\text{M}$ (Alarcón *et al.*, 2006).

Según lo citado por Alarcón y colaboradores (2006) el calcio se absorbe y transporta en forma iónica y su movilidad es mucho mayor en el apoplasto que en el simplasto. El calcio, como catión Ca^{+2} , entra en el apoplasto (canales entre paredes celulares y células adyacentes) y es ligado en forma intercambiable en las paredes celulares y en la superficie interior de la membrana plasmática. La absorción del calcio, así pues, queda restringida al movimiento apoplástico, sólo permitido en las raíces jóvenes no suberizadas.

De ahí la importancia de mantener una continúa actividad radicular para fortalecer una adecuada asimilación cálcica, constituyendo probablemente la forma más efectiva de optimizarla. Así pues, interesa todo aquello que refuerce la actividad radicular, como el empleo de enraizantes, materia orgánica fácilmente degradable (que incrementa la actividad de los microorganismos del suelo, fortaleciendo la rizosfera, mejorando la macroestructura del suelo, facilitando el lavado de iones antagónicos con calcio como es el sodio e induciendo un desarrollo constante de la raíz), óptimo manejo hídrico y nutricional, optimización de la temperatura de suelo/sustrato, etc. (Alarcón *et al.*, 2006).

Alarcón y colaboradores (2006) hacen referencias de que cualquier factor que impida el crecimiento de nuevas raíces (aireación pobre, temperaturas bajas, enfermedades o plagas del suelo, etc.), puede inducir la deficiencia de calcio. Esto puede explicar que

desórdenes relacionados con el calcio se produzcan a menudo en suelos adecuadamente provistos de calcio y que las condiciones agroclimáticas puedan ser el factor decisivo.

La absorción total del Ca en la planta de tomate se incrementa a partir de los 65 días después de la siembra, el porcentaje de Ca en el fruto también aumenta, mientras que en las hojas disminuye drásticamente, el Ca absorbido por toda la planta puede representar hasta 4 gramos por planta en base seca (Lazcano, 2000).

Alarcón y colaboradores (2006), en sus citas menciona que la toma del calcio por la raíz se ve afectada por la concentración salina de la disolución principalmente debida al antagonismo con el ión sodio y el efecto competitivo debido a elevadas concentraciones de otros cationes rápidamente tomados por la raíz como K^+ , Mg^{+2} , NH_4^+ , e incluso iones H^+ o Al^{+3} , mientras que Ho *et al.*, (1993) concluye que las altas conductividades eléctricas reducen el ascenso y el transporte de Ca hacia los frutos (Ho *et al.*, 1993).

El calcio absorbido por las raíces es transportado en la corriente transpiratoria y depositado fundamentalmente en las hojas, donde el contenido en este elemento aumenta gradualmente con la edad. Gran parte del calcio se acumula en las vacuolas y de este modo, es inactivo desde el punto de vista metabólico. El calcio acumulado en las vacuolas puede estar en forma soluble neutralizado por aniones orgánicos (malato) o inorgánicos (nitratos), o bien precipitado en forma de oxalato y/o fosfato. Las formas insolubles, tanto inorgánicas como orgánicas, se acumulan conforme crece la edad de la hoja, lo que conduce a que la concentración de calcio total en hojas maduras sea aproximadamente diez veces superior que en hojas jóvenes (Alarcón *et al.*, 1998).

Dentro de la planta existen dos tipos de tejidos de transporte: el xilema y el floema, los cuales actúan como un sistema de circulación que lleva minerales y azúcares para el crecimiento continuo de la planta. Los vasos del xilema son responsables para conducir el agua y nutrientes disueltos desde la raíz hacia las hojas. La pérdida de agua en la forma de transpiración, crea una succión la cual mueve el agua hacia arriba por el xilema y por toda la planta. El floema es el sistema de transporte de azúcares, donde los azúcares formados durante la fotosíntesis son transportados a las regiones que requieren asimilarlos, tales

como las puntas de las raíces, frutos y puntos de crecimiento de las hojas. Ambos sistemas de transporte conforman el tejido vascular de la planta (Lynette, 2000).

El calcio es transportado casi exclusivamente de forma pasiva por el xilema, así pues, cualquier factor que influya sobre la pérdida de agua en la planta (y por tanto, el flujo xilemático) o el tejido del xilema en sí mismo afectará la nutrición cálcica. Siendo un elemento relativamente inmóvil, sigue el flujo de transpirativo del agua y de esta manera, se transloca más lentamente a órganos que mantienen una baja relación transpirativa, tales como frutos y hojas encerradas o en expansión, que a hojas con elevada actividad transpirativa. Por esta razón, los desórdenes relacionados con deficiencia de calcio, tienden a ocurrir en frutos y hojas en crecimiento (Battey, 1990).

Varios estudios sobre el efecto de la conductividad de la solución y la nutrición de calcio han revelado que niveles altos de CE reducen la absorción de calcio desde la solución nutritiva, a diferencia del nitrógeno y potasio que aumentan en concentración en la hoja con los niveles altos de CE. La absorción total de calcio por las plantas puede ser reducida en 85 a 88 % a niveles de CE de 17 mS/cm, comparado con 2 mS/cm, aún si los altos niveles de CE fuesen obtenidos añadiendo altos niveles de nitrato de calcio y potasio a una solución nutritiva básica. También se ha encontrado que cultivares susceptibles a la pudrición apical cultivados en solución con alta CE desarrollan una baja densidad de tejidos xilemáticos y son menos capaces de transportar calcio en la corriente transpiracional. En consecuencia, a altos niveles de CE, no solamente es el incremento general de la conductividad que causa una reducción en la absorción y translocación del calcio sino también las altas concentraciones de otros elementos en la solución, notablemente potasio, nitrógeno y magnesio pueden tener un efecto inhibitorio sobre la nutrición de calcio (Lynette, 2000).

Normalmente, la distribución del calcio se favorece por la noche, cuando la humedad tiende a incrementarse y el nivel de transpiración foliar desciende marcadamente, esto permite al agua y al calcio movilizarse hacia los tejidos de más baja o nula transpiración. Este proceso se ve reforzado por el incremento de presión del fluido xilemático, generalmente desarrollado por la noche, debido a la mayor actividad radical (Alarcón *et al.*, 2006).

Una deficiencia de boro parece inducir una ligera mayor extracción de calcio o apenas afectarla, aunque inhibe significativamente su traslocación y su distribución en el interior de la planta y provoca cambios anormales en el metabolismo del calcio en la pared celular (Carpena *et al.*, 1994), ya que ambos elementos son responsables de la estructura de paredes y membranas celulares.

Indagaciones realizadas por Alarcón y colaboradores en el 2006 citan que una vez incorporado a la savia bruta, como se ha dicho, se dirige preferentemente a las partes de la planta de mayor transpiración, de este modo cuando la transpiración es intensa y la entrada de calcio insuficiente, los órganos de menor índice de transpiración (frutos y hojas jóvenes) presentan una carencia localizada de este elemento, ya que el calcio apenas se retransporta vía floema, ello provoca la aparición de trastornos nutricionales tales como la pudrición apical en tomate, debido, más que a una baja absorción, a la limitada capacidad de las plantas para regular la distribución interna de calcio en relación con la demanda de órganos de baja transpiración (hojas de rápido crecimiento, tubérculos, frutos, tejido vegetal encerrado).

En cultivos hidropónicos, usualmente se mantienen los niveles adecuados de calcio con nitrato de calcio. En consecuencia, la disminución de los niveles de calcio en la planta y la ocurrencia de síntomas de deficiencia, resultan generalmente por la influencia de otros factores, los cuales impiden la absorción de calcio o su distribución dentro de la planta. La absorción de calcio puede ser reducida por los efectos competitivos de una alta concentración de otros cationes en la solución, tales como potasio, sodio, magnesio o amonio. Y desde que el calcio se mueve en el xilema, su absorción también es afectada por baja temperatura radicular y por la restricción del movimiento del agua a través de la planta, causado por alta salinidad en el medio, o excesiva humedad en la atmósfera (Lynette, 2000).

El Calcio en el Fruto

Respecto a la distribución del calcio en frutos, es conocido que la concentración en la corteza adyacente al tallo se incrementa durante el desarrollo del fruto, esto indica que el

calcio importado al fruto es primero depositado en el extremo del tallo y que el transporte a la parte del fruto más alejada del tallo puede ser impedido. El transporte del calcio disminuye con la distancia al pedúnculo, de manera que los tejidos de la parte distal siempre contienen menos calcio que los tejidos proximales, al tener la parte distal del fruto menos haces vasculares y menor relación xilema:floema (Ho *et al.*, 1993; Marcelis y Ho, 1999). Además, durante la fase crítica de la extensión rápida de la fruta, aunque la red del xilema en el tejido fino del pericarpio aumente, sigue siendo solamente solo dos filamentos de funcionamiento en el tejido fino placentario. Estas características se piensan para ser la razón anatómica por la que la pudrición apical se inicia en los tejidos finos placentarios distal (Ho y White 2005).

Un fruto de tomate es 95% agua y más de 85% de esa agua proviene de la savia floemática. De aquí se desprende el que el aporte de agua al fruto vía xilema sea muy pequeño, pero es el único canal por el cual se mueve el calcio hacia el fruto. De otro lado, menos de 3% del calcio absorbido por el cultivo va a los frutos, a pesar de que el crecimiento de los frutos representa 90% del crecimiento del cultivo (Ho *et al.*, 1993).

Como ya se ha indicado, el calcio es suministrado al fruto vía xilema. En el fruto, sólo el 15% del agua proviene de los conductos xilemáticos, esto ocurre casi exclusivamente en la fase de multiplicación celular, durante los 20 días siguientes al cuaje. Durante esta fase de multiplicación celular, la relación superficie/volumen del fruto es elevada y el nivel de transpiración se mantiene, lo que favorece el movimiento xilemático hacia el fruto y consecuentemente, un buen suministro de calcio. En la fase de crecimiento, la relación superficie/volumen del fruto disminuye y la epidermis se hace menos permeable (Alarcón *et al.*, 2006).

Además, una adecuada nutrición el boro favorece esta traslocación del calcio desde el extremo del tallo hasta el extremo apical del fruto (Carpena *et al.*, 1994). Desórdenes como la pudrición apical, se desarrollan durante el crecimiento activo de los tejidos del fruto siendo encontrado en los extremos distales de tomates. Esto puede ser el resultado de un menor desarrollo xilemático, de esta manera, una menor cantidad de agua rica en calcio es translocada a estas regiones y/o la operación de transporte es más inefectiva debido a factores como una reducida transpiración (Battey, 1990).

Los frutos de tomate son órganos de transpiración baja teniendo concentraciones de calcio relativamente baja, siendo capaz de acumular más calcio a elevada humedad relativa, cuando el movimiento de calcio hasta las hojas se ve reducido. Mientras que con una baja humedad relativa se corre más riesgo de que se presenta la deficiencia de calcio en los frutos, sin embargo, la concentración del calcio en la fruta aumenta en condiciones de alta humedad, sugiriendo que la presión de la raíz puede ser un factor importante que promueve la absorción de calcio bajo condiciones de flujo bajo de la transpiración inducido por humedad alta (Adams y Holder, 1992).

A plena exposición solar, una gran cantidad de calcio se dirige hacia las hojas. En éstas la tasa de transpiración es más alta que en los frutos. Sólo en la noche, cuando no hay transpiración o es reducida y una proporción de flujo xilemático se incrementa y se desvía hacia los frutos. Así, la transpiración se da a gran velocidad con luz brillante, en particular si la humedad ambiental es baja. Estas condiciones estimulan el crecimiento de la fruta pero no el suministro de calcio (Ho *et al.*, 1993).

El calcio debe estar por encima de 0.12% para evitar el riesgo de la aparición de la pudrición apical. El 70% del calcio total de la planta se retiene en las hojas, mientras los frutos sólo contienen un 5% y a diferencia del potasio, la translocación del calcio al fruto, una vez asimilado por las hojas, es muy escasa (Chamarro, 1995). El realizar análisis foliares para poder predecir esta anomalía no son útiles puesto que plantas con presencia de pudrición apical presentan niveles foliares de calcio óptimos. Para el caso un análisis de fruto, es el mejor mecanismo para conocer posibles alteraciones de pudrición apical, en el lugar en donde se desarrolla esta fisiopatía los niveles de calcio son bajos (0.04 – 0.07%), pero se puede llegar a presentar que los niveles de calcio del fruto entero sean adecuados (0.2 – 0.3%). Teniendo en cuenta que solamente el 6% del calcio absorbido por una planta entera finalizará en los frutos (Berrios, 2004).

Síntomas de Deficiencia de Calcio

En plantas de tomate, una vez que el calcio es depositado en las hojas, es inmovilizado y los síntomas de deficiencias tienden a desarrollarse en hojas jóvenes tan

pronto se agota el suministro. Niveles inadecuados de calcio en la solución hidropónica resulta en muerte prematura de regiones meristemáticas (puntos de crecimiento) del tallo y la raíz, mientras que la malformación de las hojas jóvenes, causando el arqueamiento de las puntas hacia atrás, también es un síntoma característico. Las hojas pueden mostrar clorosis (amarillamiento) marginal y estas áreas progresivamente llegan a ser necróticas (muerte de tejido). En los racimos los frutos no llegan a cuajar y pueden caer. Ante la ausencia de calcio, las raíces no crecen bien y frecuentemente aparecen de color marrón y no desarrollan. La degeneración del ápice de frutos jóvenes (pudrición apical) es un síntoma común de la deficiencia de calcio en tomates (Lynette, 2000).

La planta de tomate con deficiencia de Ca presenta hojas nuevas con márgenes necróticos, en plantas jóvenes, las hojas se doblan hacia arriba formando una copa. Además, se reduce la tasa de crecimiento y las partes nuevas de la planta no crecen. La punta de la raíz muere y la radícula se ramifica. El síntoma más conocido de la deficiencia de Ca en tomate es la pudrición apical de la fruta (Marcelis y Ho, 1999; Lazcano, 2000).

La pérdida de permeabilidad de las membranas, debida a una mala asimilación del calcio, conduce a la destrucción del tonoplasto y de la membrana citoplasmática. En plantas completas, el desorden tiene lugar primero en zonas meristemáticas tales como puntas de la raíz, puntos de crecimiento de la parte superior de la planta y órganos de almacenamiento. Compuestos melánicos marrones, resultantes de oxidaciones polifenólicas, están asociados con tejidos deficientes (Alarcón, *et al.*, 2006).

Pudrición Apical

Esta fisiopatía fue identificada y descrita por primera vez como desorden fisiológico en 1986 por Selby. Este fenómeno ha sido una línea importante de investigación, ya que es responsable de cuantiosas pérdidas en zonas productoras de tomate sin importar el avance tecnológico empleado, sobre todo en variedades altamente susceptibles a esta fisiopatía. El porcentaje de frutos afectados por esta fisiopatía se incrementa en condiciones de cultivo forzado en invernaderos, donde los requerimientos de calcio por parte de los frutos (como principal suministro de elementos nutricionales

durante la etapa de crecimiento celular rápido) aumentan por unidad de área y de tiempo (Saure, 2001).

El síntoma más conocido de la deficiencia de Ca en tomate es la pudrición apical de la fruta y obedece al incremento en la demanda de Ca para la rápida expansión celular, haciendo deficitario el suministro de Ca hacia los tejidos susceptibles del fruto (Marcelis y Ho, 1999; Lazcano, 2000).

Síntomas de la Pudrición Apical. Situaciones de déficit de calcio provocan una pérdida de integridad de las membranas y paredes celulares que conforman el tejido de los frutos. Este hecho provoca la ruptura de las paredes celulares que conforman las células de los tejidos e incide la mezcla de los componentes citosólicos y de los contenidos de los diferentes compartimentos celulares, mostrando los síntomas externos debido al derrumbamiento de células en la epidermis y parenquima subepidermal teniendo como consecuencias la muerte de la célula y la salida subsecuente del contenido de la célula en el espacio extracelular (Suzuki, *et al.*, 2003). Estos acontecimientos a nivel celular se manifiestan de forma macroscópica en una pérdida de turgencia en las paredes apicales de los frutos y que avanza en forma de círculos concéntricos, sobre todo en la etapa de crecimiento rápido de las células que componen los tejidos de los frutos de tomate jóvenes, seguido de un ennegrecimiento (necrosis) de los tejidos afectados. (Paiva *et al.*, 1998 a y b). La pudrición apical se detecta visualmente en primer lugar en forma de pequeñas lesiones o depresiones por debajo de la superficie del fruto en la zona distal. Estas depresiones van adquiriendo un aspecto desagregado y una coloración verde oscura. Estas manchas evolucionan rápidamente en un periodo de tiempo que abarca alrededor de una semana (de 12 a 15 días post-antesis), encogiéndose y formando depresiones necróticas de aspecto marrón o negro (Saure, 2001). Este periodo coincide con la etapa de crecimiento celular rápido, que es dos semanas después de la antesis, en el que las células del fruto reducen la tasa de división y aumentan su tamaño y demanda más calcio el cual es crítico en esta etapa (Ho *et al.*, 1993). Los síntomas típicos de esta fisiopatía son, por lo tanto, el pardeamiento y necrosis de las zonas apicales de frutos. Las venas pueden mostrar a través de las lesiones como líneas negras.

Factores Causantes y su Influencia en la Incidencia de la Pudrición Apical

La pudrición apical ocurre en tomates producidos en campo o en invernaderos, pero no se ha reportado su ocurrencia en especies silvestres, implicando que la ocurrencia esta asociada al crecimiento de la fruta en condiciones favorables para el crecimiento de la fruta.

Al recopilar la literatura para la elaboración de este trabajo se ha encontrado que existen diferentes factores a los cuales se le atribuye, son causantes o que afectan de manera indirecta la deficiencia de calcio en los frutos de tomate debido a que reducen la absorción, transporte y distribución del calcio en la planta y frutos, para posteriormente presentar los síntomas ya descritos de esta fisiopatía. Los factores abióticos parece que son los más estudiados y no los bióticos aunque de alguna forma se les relaciona.

Es posible correlacionar que la mayor incidencia de esta fisiopatía esta ligada con otros factores que afectan directa o indirectamente a la absorción y transporte del calcio en la planta, como son el incremento de la salinidad del suelo o de la disolución nutritiva, condiciones de estrés hídrico o proporciones inadecuadas de nutrientes en la disolución nutritiva, falta de aireación en las raíces y otros factores abióticos (Adams y Ho, 1993).

También se le ha atribuido a un número de factores entre los que destacan estrés de agua, bajos niveles de calcio en solución, alta salinidad, desbalance de cationes en la solución nutritiva, desfavorables condiciones ambientales o una combinación de estos factores. La pudrición apical es a menudo resultado de condiciones ambientales y propias de la planta que es un resultado directo de una insuficiencia de calcio en la solución nutritiva. En realidad, la pudrición apical está asociada con la deficiencia de calcio en el fruto, mientras que los niveles de calcio en la solución tal vez sean mayores a los adecuados (Lynette, 2000 y Berrios, 2004).

La mayoría de estudios ha identificado una deficiencia local de calcio en el tejido fino distal de la fruta como la causa primaria de la pudrición apical. Por esta razón, se le considerada un síntoma de un desorden fisiológico atribuido al calcio. Sin embargo, su inducción en la producción de tomate en invernaderos modernos raramente es causada por

el insuficiente calcio en la nutrición. La pudrición apical ocurre más a menudo cuando las plantas crecen con una fuente adecuada de calcio bajo condiciones que (a) reducen el transporte del calcio al tejido fino distal de la fruta que esta creciendo rápidamente o (b) aumenta la demanda de calcio por el tejido fino distal para el crecimiento rápido de la fruta (Ho, 1998b). En la práctica, la pudrición apical pueden ser prevenida aumentando transporte del calcio hacia la fruta reduciendo la transpiración del dosel (Li *et al.*, 2001) o aspersiones de calcio al dosel (Ho, 1998a; Schmitz-Eiberger *et al.*, 2002). Sin embargo, puesto que la pudrición apical puede ocurrir en plantas y frutas con las concentraciones de calcio al parecer adecuadas en el tejido fino, prediciendo y previniendo la ocurrencia de la pudrición apical en tomates de invernadero la medida del estado del calcio no ha sido siempre eficaz. A raíz de esto, Saure (2001), sugiere que la nutrición del calcio no es ni un factor primario, ni a un factor independiente en el desarrollo de la pudrición apical.

El aumento de la demanda de calcio para la síntesis de la pared celular, como resultado de una rápida expansión celular debida a un importe elevado de sacarosa al fruto, parece inducir el desarrollo de la pudrición apical en los frutos de tomate (Ho *et al.* 1999). La aparición de la pudrición apical tiene, además, un componente genético según su eficiencia en la utilización del calcio varia dependiendo de la línea genética, si se trata de la toma a través de la raíz como su distribución en la planta. Sin embargo, la pudrición apical parece estar relacionada con el bajo potencial del cultivar con la tarifa de crecimiento de la fruta y/o el tamaño de la fruta (es decir forma de la fruta y la tarifa de extensión de la fruta), habiendo influencias genéticas claras en la susceptibilidad de diversos cultivares a la pudrición apical (Cuartero y Fernández, 1999).

Ho y White (2005) presentan una nueva estimación del papel del calcio en la inducción de la pudrición apical en fruta del tomate. Consideran que esta fisiopatía es un acontecimiento celular inducido, que ocurre durante la extensión rápida de la célula en la fruta joven como un proceso fisiológico que pudo afectar las respuestas de la planta entera al ambiente y particularmente las interacciones entre el Ca y otros nutrientes (N, P, K), hormonas (auxinas y giberelinas) y estrés (calor, agua y oxidación), los factores oxidativos podrían afectar la inducción de la pudrición apical.

Según Ho y colaboradores (1999) y Adams, (2002), la inducción de la pudrición apical en fruta joven es influenciada por un número de factores ambientales, que

probablemente ejercen sus efectos afectando el transporte del calcio a la fruta y/o el índice de la extensión de la célula (figura 1). Aunque cada condición ambiental adversa pudo reducir la acumulación del calcio y/o acelera la expansión de la célula en frutas jóvenes con un diverso proceso fisiológico, todo esto puede reducir la concentración del calcio a un nivel crítico en el tejido fino distal de la fruta. Esta interpretación es corroborada por la observación que diversos cultivares demuestran una amplia gama de respuestas a las condiciones que cada vez inducen mayor pudrición apical (Ho *et al.*, 1995) y la susceptibilidad de diversos cultivares a la pudrición apical parece ser relacionado con el desarrollo de la red del xilema y el índice de expansión de la célula durante el temprano desarrollo de la fruta (Ho *et al.* 1993; Belda *et al.* 1996). Los factores ambientales que influyen la absorción y/o la entrega del calcio a la fruta incluyendo la composición de la nutrición, su salinidad o la fuerza osmótica y la humedad del aire. Los factores ambientales que influyen el índice del crecimiento de la fruta, directamente o indirectamente afectando las concentraciones de hormonas, incluyendo la disponibilidad del agua en la zona de la raíz, la intensidad de luz y la temperatura ambiente.

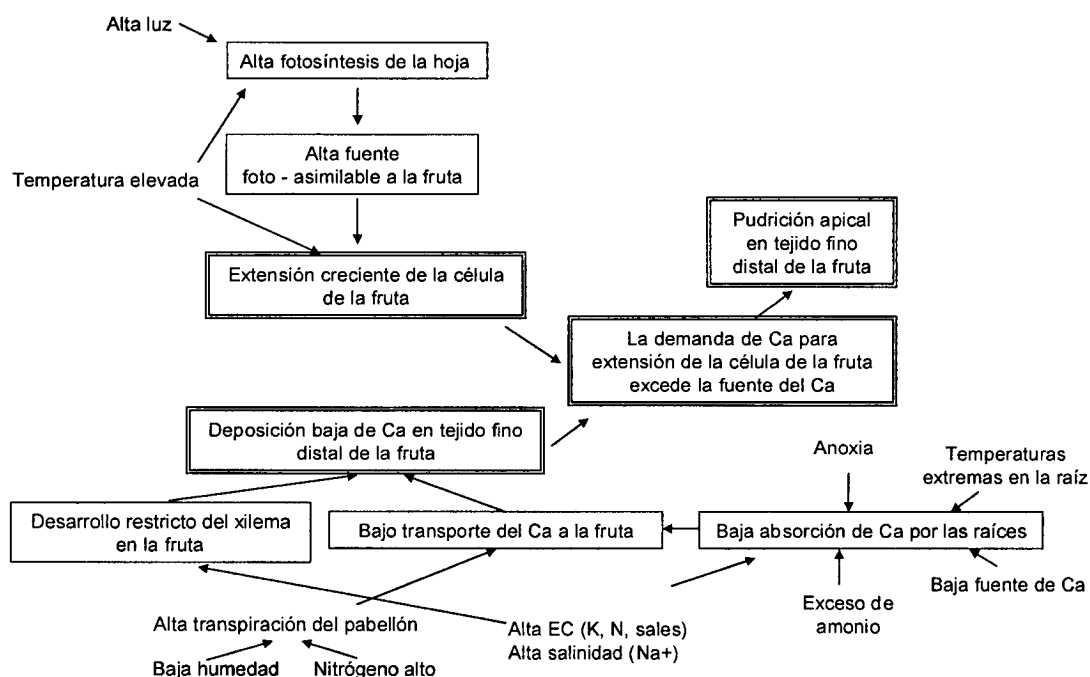


Figura 1. Factores ambientales que influyen la incidencia de la pudrición apical en fruta de tomate (Ho, 1998b; Adams. 2002).

Se ha observado que aumentando las concentraciones de los iones en la nutrición antagonizan la absorción del calcio promoviendo la pudrición apical. Con respecto al NH_4^+ (Lynette, 2001; Taylor y Locascio, 2004), Na^+ (Cuartero y Fernández, 1999) y K^+ (Adams, 2002; Taylor y Locascio, 2004) es particularmente significativo. Semejantemente, un punto de temperaturas extremas bajas o altas o la anoxia en la zona de la raíz reduciendo la absorción del calcio y promoviendo la pudrición apical. Además, puesto que el movimiento del calcio al xilema es proporcional a la absorción de agua (Ho et al., 1995; White, 2001), los factores ambientales que reducen la absorción de agua, tal como temperaturas extremas en la raíz, anoxia, sequía y tensión osmótica, reduciendo los flujos del calcio a los puntos en crecimiento, de tal modo, promueve la pudrición apical (Guichard *et al.*, 2001). De hecho, el riego desigual o las condiciones salinas en el campo, la alta conductividad eléctrica (CE) en la nutrición para la producción de tomate de invernadero se identifican como las causas más comunes que inducen la pudrición apical (Cuartero y Fernández, 1999).

En un estudio realizado por Lynette en el 2001, observó los efectos del nitrato o amonio a diferentes concentraciones en plantas de tomate, encontrando que el amonio reduce el crecimiento del tallo, el peso total y el peso promedio del fruto, número de frutos, concentraciones foliares de calcio, magnesio y nitrógeno así como las concentraciones de calcio, magnesio y potasio en frutos y que los frutos afectados por la pudrición apical sólo fueron los de plantas tratadas con amonio, atribuyéndoselo a una reducción de los niveles de calcio en el fruto. Los frutos de las plantas que sólo recibieron nitrato tienen buenos niveles de calcio, alrededor del 0.25%, mientras que a las plantas que se les suministró sólo amonio produjeron frutos con niveles de calcio de 0.03-0.05%.

Otro aspecto que predispone a la presencia de pudrición apical es la nutrición con nitrógeno amoniacal. Lo recomendable es evitar si existe predisposición al desarrollo de pudrición apical la nutrición con nitrógeno amoniacal (sulfato de amonio, urea) después del amarre de las primeras flores. Este riesgo es mucho mayor si el cultivo sufre falta de agua o déficit hídrico en las etapas de formación de fruto. Esta falta de agua no sólo puede deberse a un riego inapropiado sino también a presencia de nemátodos o a un pobre desarrollo radicular. (Berrios, 2004).

Los factores ambientales como luz, temperatura, humedad relativa, reducen los flujos de calcio a las frutas que se están formando, debido a que afectan la corriente del xilema hacia el fruto, prefiriendo a las hojas, las cuales tienen mayor transpiración que los frutos (Li *et al.*, 2001). Por lo tanto se sugiere que si en la nutrición se incluye alto nitrógeno, conducirá al desarrollo de un dosel grande y de tal modo, aumenta la transpiración, esto puede inducir deficiencia de calcio en los frutos debido a que el calcio se mueve en masa hacia los puntos de alta transpiración. Otra forma en que se reduce el flujo de calcio a las frutas es por el mal desarrollo del xilema dentro de la fruta, pudiendo ser una característica genética de los cultivares o a las condiciones que favorecen la rápida expansión de la fruta (Ho *et al.*, 1993; Belda., 1996).

Las prácticas culturales, ej. poda de raleo y los factores ambientales, ej. altas intensidades de luz y temperaturas elevadas, esto también acelera la expansión de la fruta promoviendo la pudrición apical (Wui y Takano, 1995). Debido a que durante estos períodos, la expansión de la fruta es acelerada directamente por altas temperaturas y las altas intensidades de luz, las temperaturas elevadas aumentan la fotosíntesis del dosel y la fuente de fotoasimilados a la fruta (Ho, 1998b). Bajo estas condiciones, es probable que la pudrición apical esté inducida en el tejido fino distal de la fruta que está creciendo rápidamente causando que la demanda de calcio exceda la fuente inmediata al xilema (Ho *et al.*, 1993).

Los factores ambientales y genéticos que influyen en la ocurrencia de la pudrición apical en tomate afectan el índice de extensión de la célula o la entrega del calcio a la fruta joven. Se ha observado que la pudrición apical ocurre solamente en tejido fino distal de la fruta durante la fase inicial de la extensión y de la vacuolación rápida de la célula, antes de que cualquier tejido fino locular esté presente. Así, la pudrición apical ocurre durante un período de alta demanda celular del calcio, con el acelerado crecimiento de la fruta o la limitada entrega de calcio a la fruta. También menciona que existe evidencia reciente la cual sugiere que la pudrición apical inicia como un acontecimiento celular discutiendo que la dinámica celular del calcio durante el desarrollo de la pudrición apical podría tratarse de cualquier discusión substantiva de que el calcio no es un factor primario en el desarrollo de la pudrición apical (Ho y White, 2005).

Durante la extensión de la célula, hay una demanda considerable de calcio (a) que servirá como componente estructural de nuevas membranas celulares y de membranas, (b) como señal citosólica que dirige el crecimiento y la bioquímica de la extensión de la célula y (c) como contador de catión de la vacuola en crecimiento (White y Broadley, 2003).

Cuando el calcio está en cantidades limitadas, cualquier distribución preferencial en un proceso particular pudo deteriorar la función celular. Así, la acumulación excesiva de calcio en la vacuola puede conducir a ambas señales aberrantes del calcio citosólico y a un debilitamiento de las membranas celulares, esto fue observado por Hirschi (2001) en plantas transgénicas.

Las nuevas variedades y mejoras en regímenes alimenticios han reducido la importancia económica de la pudrición apical. Sin embargo, sigue siendo un fastidio esporádico especialmente en algunas variedades susceptibles pero de interés comercial (Ho *et al.*, 1999).

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Desde el siglo pasado muchos investigadores se han dedicado a investigar o a reunir información de las posibles causas y los factores que influyen la deficiencia local del calcio, misma que incide en la pudrición apical de los frutos de tomate principalmente, causando pérdidas económicas de consideración, es por ello que investigadores tratan de dar solución a dicho problema.

Ho (1998a) menciona que el contexto hortícola, la pudrición apical se puede considerar simplemente como síntoma de la deficiencia del Ca en el tejido fino distal de la fruta durante la extensión rápida de la célula. Así, la pudrición apical en la producción de tomate puede ser reducida al mínimo rociando el calcio sobre la fruta joven (Figura 2).

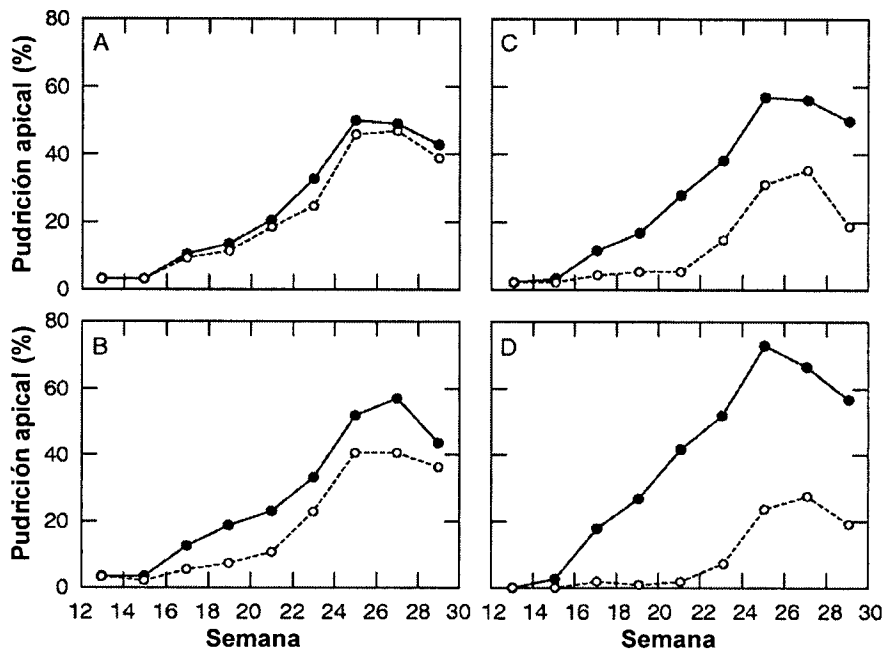


Figura 2. Efectos de los tratamientos nutricionales y las aspersiones de calcio en la incidencia de la pudrición apical en los tomates de racimo ('Mariella') producidos en hidroponía. Comparaciones de la incidencia de pudrición apical, expresada como un porcentaje de la producción de fruta bisemanal, cuando A) el Nitrógeno (N) fue disminuido en la nutrición a partir de 240 (círculos cerrados) a 120 mg.l⁻¹ (círculos abiertos), B) el fósforo (P) fue disminuido en la nutrición a partir de 30 (círculos abiertos) a 5 mg.l⁻¹ (círculos cerrados), C) aspersiones semanal a las frutas jóvenes con 0.5% (peso/volumen) de Cloruro de Calcio (CaCl₂) (círculos abiertos; una aspersión = círculos cerrados) y D) la combinación de todos los tratamientos, como N estándar, P bajado y ninguna aspersión de calcio (círculos cerrados) o con N reducido, P estándar más una aspersión de calcio (círculos abiertos).

Pudiendo observar en la figura 2, que el porcentaje de pudrición apical se reduce al disminuir el nitrógeno, debiéndose de mantener la cantidad estándar de fósforo en la solución nutritiva, sin embargo la aspersión semanal a las frutas jóvenes con 0.5% (peso/volumen) de cloruro de calcio fue el mejor tratamiento individual, pero al combinar tratamientos tales como nitrógeno estándar y disminuyendo el fósforo en la solución nutritiva y sin aspersiones de calcio el porcentaje de pudrición apical aumenta contrario a cuando el nitrógeno es reducido y el fósforo se mantiene en la cantidad estándar en la solución mas una aspersión de calcio es la forma en que se reduce un mayor porcentaje de pudrición apical.

MAFF (1997-2000). En su proyecto de investigación emplearon plantas de tomate de dos cultivares *Solairo* y *Espero* crecidas en sistema hidropónico usando lana de roca como sustrato y manejando diferentes rangos de humedad relativa en los invernaderos con inyección de CO₂ y diferentes relaciones entre el potasio y calcio, se mantuvo una temperatura de 25 °C en el sistema radicular.

Durante el manejo de cultivo se empleó la técnica de raleo de frutos utilizada para reducir la carga dejando típicamente de 5 a 8 frutas por racimo teniendo una mejor distribución y tamaño de las frutas comparadas con las no podadas en las cuales se redujo la producción debido a que se presentó la pudrición apical asociada a una restringida fuente de calcio a las frutas, mientras que en donde se quitó fruta al racimo la concentración de calcio fue mayor.

Bajo humedad relativa alta y transpiración baja, se observó una reducción en la absorción de agua, sin embargo no se reduce la absorción del calcio reflejadas en las concentraciones encontradas en hojas, frutas y puntos de crecimiento esto pudo ser debido a que se facilita el transporte del calcio.

Saure (2001) hace una recopilación de literatura e investigaciones para realizar su artículo en el cual menciona que su revisión proporciona poca evidencia confiable que con ciertos factores ambientales se producen la pudrición apical cada vez que ocurre. Por otro lado, la mayor parte de la información disponible sobre los efectos del ambiente en la

incidencia de la pudrición apical y el papel de la deficiencia del Ca^{+2} se basa en relaciones correlativas.

Concluyendo que el crecimiento vigoroso con una baja concentración de Ca^{+2} en los tejidos finos no implica necesariamente la incidencia creciente de la pudrición apical, con respecto a la turgencia y salida de solutos se observa el desarrollo de la pudrición apical, pudiendo ocurrir solamente si es seguida por una desintegración de las membranas como a respuesta a los varios tipos de estrés, tales como déficit del agua en el suelo, la salinidad, o la alta actividad del NH_4^+ .

La información recopilada le permite especular que la secuencia de las condiciones de crecimiento libre de estrés, dando por resultado crecimiento excelente pero alta susceptibilidad a la pudrición apical, subsecuentemente ocurre un severo estrés causando pérdidas grandes por la pudrición apical.

Consecuentemente, el papel del Ca^{+2} en el desarrollo de la pudrición apical debe ser valorado de nuevo. Aunque siendo instrumental, puede ser considerado un factor primario o independiente.

Por lo tanto, el control de la pudrición apical no debe centrarse tan lejos principalmente en tentativas de mantener el nivel del calcio en la fruta tan arriba como sea posible, sino debe explorar otras opciones tales como intentar mantener crecimiento moderado de los puntos de crecimiento y evitar o contrariar repentinos estreses ambientales.

Suzuki y colaboradores (2003) durante su investigación localizaron el calcio en frutas de tomate con pudrición apical, de plantas de tomate cultivar House Momotaro, que se desarrollaron en invernadero con sistema hidropónico y dos tipos de soluciones nutritivas; solución 1 la cual contenía: N, 10%; P_2O_5 , 8%; K_2O , 27%; MgO , 4%; MnO , 0.10%; B_2O_3 , 0.10%; Fe, 0.18%; Cu, 0.002%; Zn, 0.006%; y CaO , 23%. y la solución 2 contiene N, 11%: y CaO , 23%. Las frutas normales de tomate fueron producidas usando una mezcla de 0.375 g de la solución 1 y de 0.25 g de solución 2 en 1000 ml de agua (siendo una condición normal en la producción). Por otra parte, las frutas del tomate que presentaron pudrición apical fueron producidas en una mezcla de 1.125 g de la solución 1 y

0.25 g de la solución 2 en 1000 ml de agua (siendo una condición de alta nutrición). La incidencia de la pudrición apical fue 77% bajo condición de alta nutrición y solamente 8.7% en condición normal.

En las frutas de plantas crecidas bajo alta nutrición llegó a ser visible una área empapada de líquido como etapa inicial de la pudrición apical en la superficie de frutas que apenas tenían un diámetro de 3 centímetros, tales síntomas fueron debidos a la salida de solutos debido al colapso y ruptura de las células. Pudiera ser debido a que los sistemas de transporte y de la regulación del calcio les pudieron haber causado daño en el ápice de las frutas cuando se desarrollan bajo condiciones inadecuadas del crecimiento.

Taylor y Locascio (2004) concluyen que la pudrición apical es el resultado de una deficiencia localizada del calcio en el extremo distal de la fruta. Para prevenir la ocurrencia de la pudrición apical se debe evitar las prácticas y las situaciones que promueven su incidencia.

De la recopilación de literatura citan algunas prácticas y situaciones que se pueden evitar, para prevenir la pudrición apical. Antes de plantar, se debe realizar un análisis de suelo para determinar los índices apropiados de fertilización para proveer la cantidad de calcio adecuada y para evitar el uso excesivo de iones antagónicos (ej. K y NH_4). Entre las plantas vegetales, el tomate tiene la necesidad más alta del agua durante su período del crecimiento. Las prácticas culturales, por ejemplo, el uso de acolchado de polietileno, mantiene la humedad adecuada del suelo y evitar las variedades que son más susceptibles a la deficiencia de calcio y a la ocurrencia de pudrición apical esto ayudarán a reducir la incidencia. También, en experimentos realizados en invernadero, un aumento en la transpiración de la fruta es más eficaz para aumentar las concentraciones de calcio en la fruta al aumentar la concentración de calcio en el sustrato. Las interacciones de los elementos minerales en el suelo y en la planta junto con los efectos sinérgicos y antagónicos son constantemente los nuevos problemas que llaman la atención de los investigadores. Las investigaciones futuras necesitan centrarse en defender las variedades que son menos susceptibles a la pudrición apical, usando estas variedades para hacer propuestas y prácticas de manejo del agua y de la fertilización que promueven la absorción del calcio y disminuir los efectos antagónicos.

Ho y White (2005) hacen una recopilación de información sobre el tema citado y de dicha información se plantean una hipótesis en donde relacionan que la inducción de la pudrición apical en fruta de tomate con los efectos a nivel celular (figura 3) donde se observan que los factores ambientales y genéticos influyen el índice de la extensión de la célula y de la entrega del calcio a las células que se están ampliando rápidamente en la porción distal de fruta joven. Un desequilibrio entre la fuente de calcio y la extensión de la célula junto con la demanda de calcio conducen a una disminución de la concentración del calcio apoplastico, afectando la estructura de la pared celular, la integridad de la membrana y las señales del calcio cytosolico (Cyt). Los efectos nocivos sobre estas características celulares críticas dan lugar a flujos incontrolados de soluto, deteriorando así el metabolismo de la célula, teniéndose eventualmente la muerte da la célula. Mostrándose así los síntomas de la pudrición apical, tales como el aspecto decolorado, acuoso y el tejido fino necrótico, es constante con deficiencia de calcio en el apoplasto.

Ho y White (2005) en su hipótesis explica qué la concentración de calcio no es necesariamente más baja en tejido fino afectado por la pudrición apical que en tejido fino no afectado de la fruta, puesto que las concentraciones de calcio vacuolar en tejido fino afectado podrían todavía ser altas. Sin embargo, puede ser predicho que las concentraciones de calcio en el apoplasto y/o el citoplasma del tejido fino afectado serán más bajas que en el tejido fino no afectado y esta deficiencia local de calcio inicia la pudrición apical.

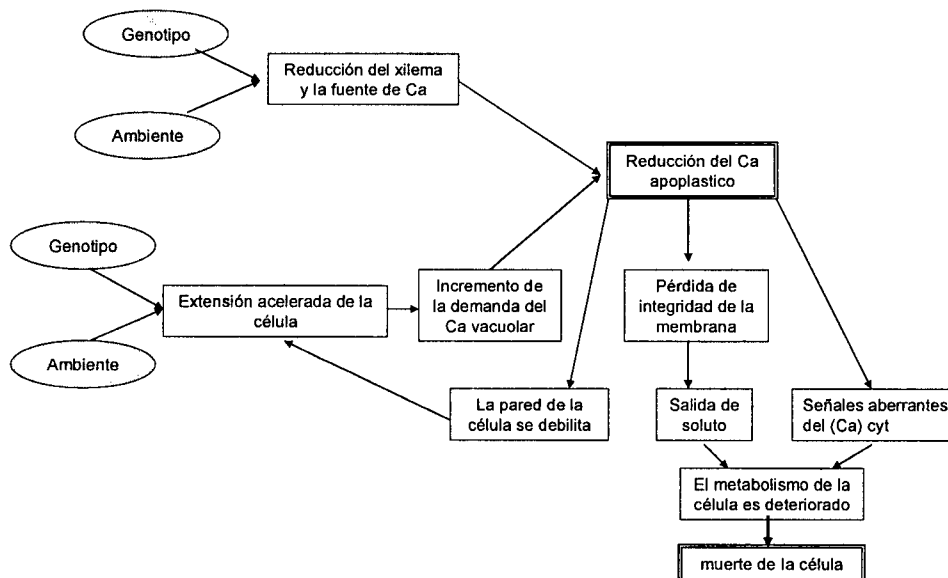


Figura 3. Hipótesis planteada por Ho y White (2005).

Puente y colaboradores (2004) Se evaluó el potencial productivo de cuatro genotipos de tomate, sembrados en acolchado plástico fotoselectivos y fertirrigando con dos soluciones nutritivas una de que contenía calcio más NPK y la otra solo NPK. Los mejores rendimientos, fueron al aplicar la solución NPK + Ca, reflejando la importancia de éste elemento, que sin embargo la mejor calidad en cuanto a tamaño de los frutos se obtuvo al aplicar solo NPK.

Cardona y colaboradores (2005) evalúan el efecto de la aplicación foliar de Ca sobre la pudrición apical y la calidad de los frutos de tomate, aplicando tres concentraciones de quelato de calcio: 0.05%, 0.10% y 0.15% de calcio activo, aplicándolos una, dos y tres veces, según las combinaciones de tratamientos, a los 5, 10 y 15 días post-antesis, en el área experimental de la Universidad de Córdoba (Unicor) y en la finca *Ucrania*, localidad del municipio de Montería (Colombia). Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 3 x 3, un control y cuatro repeticiones.

En Unicor no se presentó el desorden fisiológico bajo ningún tratamiento, esto debido a que las condiciones climáticas en las que desarrollo el cultivo fueron apropiadas y contrarias a las que favorecen la incidencia de la pudrición apical. Sin embargo el efecto del Ca se manifestó al incrementarse la firmeza y la concentración de Ca en los frutos, mientras que los sólidos solubles totales, el pH y la acidez no fueron afectados consistentemente por los tratamientos.

En *Ucrania* las condiciones favorecieron el desarrollo de la deficiencia de calcio en las plantas y en frutos, observando que el efecto de los tratamientos se hizo evidente al reducir la incidencia de la pudrición apical a niveles mínimos, en tanto que las características físicas y químicas de los frutos no fueron afectadas por los tratamientos, con la notable excepción del contenido de Ca en frutos el cual fue incrementado.

AREAS DE OPORTUNIDAD

Las investigaciones recientes, en la producción del cultivo muestran un interés por la fisiología del calcio en la fruta, esto a nivel celular, determinando así el momento en el cual los frutos tendrán mayor demanda de calcio para su desarrollo, siendo un momento oportuno para prevenir una deficiencia de calcio, a través de la implementación de diferentes practicas que previenen dicha deficiencia.

Para la corrección de la deficiencia de calcio en tomate principalmente en frutos, es necesario que en las investigaciones futuras y los mismos productores, se enfoquen en el manejo de las prácticas que mejoren las condiciones en que se desarrollen las plantas, así como las que mejoren la absorción, movimiento y distribución del calcio en el interior de las plantas, pudiendo así reducir la incidencia de la deficiencia de calcio.

De entre los factores y prácticas en las que se pudieran realizar investigaciones, evaluaciones y comparaciones y que a la vez los productores puedan iniciar las prácticas que reduzcan la deficiencia siendo: La manipulación de los factores agroclimáticos y fisiológicos debido a que condicionan la asimilación y distribución del calcio sin importar que este se encuentra disponible o en niveles adecuados en el suelo o solución nutritiva y a la vez reducir los arranques de crecimiento rápido en la planta y frutos. Las prácticas que pudieran ayudar a la manipulación de estos factores son:

- Incrementar la humedad relativa a través de nebulizaciones hídricas sobre el pabellón del cultivo o microaspersión entre los surcos. Esto reducirá la transpiración y la temperatura, sin embargo la transpiración no se debe reducir más de la mitad del potencial de transpiración del cultivo.
- Emplear diferentes técnicas para sombrear el cultivo durante periodos de elevadas temperaturas e intensidades luminosas. Esto trae consigo una reducción de la temperatura, transpiración e incremento de la humedad relativa.
- Riegos frecuentes de tal modo que el contenido de agua disponible para el cultivo no sea bajo, esto mejora el flujo del calcio junto con el agua.
- Temperatura en la zona radicular, esta debe mantenerse en rangos adecuados ya que facilitara la absorción y la disponibilidad de los nutrientes.

- Generación de nuevas raíces utilizando enraizadores, especialmente en la etapa de cuajado de frutos. Al mismo tiempo evitar los daños en las raíces, y mantener una oxigenación para evitar la asfixia.
- Manejar la cantidad de nitrógeno empleado evitando los contenidos altos y particularmente el ión amonio ya que reduce la absorción del calcio y fomenten el crecimiento rápido y vigoroso.
- Implementación de reguladores de crecimiento para controlar el crecimiento vigoroso y excesivo.
- Adecuar la relación Ca:K,Mg, para evitar el antagonismo del calcio y particularmente el sodio (Na).
- El manejo de la conductividad eléctrica, evitando los rangos de CE elevados especialmente en periodos de alta transpiración o estrés hídrico y realizar lavados de sodio.
- Manejo del pH, evitando los niveles alcalinos debido a que imposibilitan la liberación del calcio.
- Mantener un suministro adecuado de boro y a la vez mantener una asimilación balanceada con el calcio.
- Mantener adecuados niveles de calcio en la fertilización o solución nutritiva y al mismo tiempo suministrarlo continuamente, especialmente en la fase de desarrollo de los frutos.
- Implantar aspersiones foliares de calcio principalmente en la etapa de fructificación.
- Realizar buenas podas en las plantas y principalmente de raleo de frutos.
- Los análisis de calcio en la planta no se deben realizar en las hojas sino en los frutos en desarrollo.
- El desarrollo de cultivares transgénicos y la selección cultivares no susceptibles a la deficiencia de calcio, serán tolerantes a las condiciones adversas en las cuales se puede presentar la deficiencia de calcio, estos cultivares serán capaces de mejorar la absorción, movimiento y distribución del calcio dentro de la planta, los cuales son mas eficientes en cuanto al uso del calcio absorbido, así como en su distribución.

Para los interesados en el tema de la deficiencia de calcio en el cultivo de tomate, siendo la pudrición apical del fruto la principal deficiencia y la de mayor importancia económica. Se deberán enfocar en la comparación de prácticas de manejo del cultivo mencionadas anteriormente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El calcio, es el principal componente de la célula encontrándose en su estructura, fortaleciendo las paredes y controlando la permeabilidad e integridad de la membrana.

En plantas de tomate, su función tiene lugar en zonas meristemáticas tales como puntas de la raíz, puntos de crecimiento de la parte superior de la planta y órganos de almacenamiento como frutos. Esto debido a que estas partes se encuentran en crecimiento, por lo tanto son los puntos de división y expansión de las células para así tener un crecimiento de estas partes, al reducirse la fuente y absorción de calcio estas partes de la planta son las más susceptibles y serán las primeras en presentar desordenes, teniendo mayor efecto en los frutos.

Los síntomas asociados a una deficiencia de calcio tienden a desarrollarse en: 1) meristemas pudiendo tener una muerte prematura de ellos y en hojas jóvenes se pueden tener malformaciones, causando el arqueamiento hacia atrás, otro síntoma es la clorosis (amarillamiento) marginal, estas áreas progresivamente llegan a ser necróticas (muerte de tejido), 2) en las raíces los síntomas son reducción de su crecimiento, se tornan de color marrón y las puntas mueren al igual que las raíces nuevas y 3) los racimos de frutos no llegan cuajar y caen mientras que en los frutos jóvenes se presenta una degeneración del ápice, mostrándose un aspecto descolorido y acuoso, llegando a necrosarse el tejido fino.

Las causas que originan la deficiencia de calcio son variadas y dependerá de las condiciones en que se desarrolle el cultivo.

En el sistema radicular al aumentar la conductividad eléctrica (CE) de la solución del suelo y sistemas hidropónicos a más de 6 dS m^{-1} , además de inducir una deficiencia hídrica, aumenta la relación K^+ : ($K^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2} + NH_4^+$), ocasionando desbalances nutrimentales llegando a tener un antagonismo en la absorción del calcio. No todos los nutrimentos son afectados en igual medida. Los que se mueven por flujo de masas, como el Ca^{2+} y en menor medida el Mg^{+2} se absorben en menor cantidad, de esta manera se puede

inducir deficiencia de Ca^{+2} . El pH demasiado ácido o alcalino limitará la disponibilidad y absorción de los nutrientes.

Otra causa se da al aumentar la presión de vapor en la atmósfera, lo cual disminuye el flujo de transpiración y por ende, la absorción de Ca^{+2} , al menos en las hojas, si además la solución nutritiva tiene una relación $\text{Ca}^{+2} : (\text{K}^{+} + \text{Mg}^{+2} + \text{NH}_4^{+})$ baja (menor que 40:60) es muy probable que se manifiesten algunos problemas fisiológicos derivados de un desbalance nutrimental, como es el caso de la pudrición apical.

De entre las condiciones ambientales donde se este cultivando se podrían tener, la alta radiación o la cantidad de luz que incida en el cultivo se reflejará en una alta cantidad de fotosíntesis, transpiración y la temperatura, estas condiciones son apropiadas para un crecimiento acelerado y vigoroso de las plantas y frutos, los cuales tienen baja tasa de transpiración comparada con las hojas y ya sabiendo que el calcio después de absorberse se mueve en masa siguiendo el flujo transpirativo, se tendrá mayor acumulación de calcio en las hojas que en los frutos, pudiendo presentarse síntomas de deficiencia en éstos, mayormente cuando están en desarrollo inicial.

En racimos con demasiada fruta se pueden presentar síntomas de deficiencia, debidos a que la cantidad de calcio que llegue al racimo se repartirá en más frutos y no acumularán la cantidad requerida. Además existen cultivares susceptibles a deficiencia de calcio, mas cuando crecen en condiciones limitantes.

De entre las posibles soluciones para eliminar la deficiencia de calcio es corregir o evitar las condiciones y causas que la originan.

Entre las prácticas o tratamientos para prevenir deficiencia de calcio principalmente en los frutos que pueden presentar pudrición apical, existen unas mas eficientes que otras, tales como la manipulación de la composición mineral de la nutrición (ej. fuente baja de N), con respecto a la CE la solución nutritiva del suelo o sustratos en hidroponía no debe ser mayor de 6 dS m^{-1} para no tener problemas de desbalance con los nutrientes evitando el antagonismo de la absorción del calcio. Con lo que respecta al pH debe mantenerse entre 5.5 y 6.5 fuera de este rango algunos minerales, aunque estén presentes en la solución, no estarán disponibles para ser absorbidos por las raíces.

La absorción del calcio por las raíces puede ser maximizada optimizando la composición mineral de la nutrición, evitando la alta salinidad o evitar usar mas del 10% del N total en forma de NH_4^+ , evitar los excesos de K^+ y Mg^{+2} , mientras que las concentraciones de Ca^{+2} devén ser las adecuadas y aplicadas constante mente. Por otra parte se deberán evitar las temperaturas extremas en las zona radicular (no $<14^\circ\text{C}$ o $>30^\circ\text{C}$) y el ambiente seco en la raíz, manteniendo la humedad constante del suelo o sustrato, mediante riegos cortos y frecuentes.

La disminución de la humedad relativa aumenta la transpiración y el flujo del calcio hacia las hojas sin embargo se reduce el movimiento del calcio hacia los frutos los cuales presentaran deficiencia, la cual se puede evitar incrementando la humedad relativa, esto reduciría la transpiración, siendo adecuado que el potencial de de transpiración del cultivo se reduzca a la mitad para permitir mayor movimiento y entrega del calcio hacia los frutos.

La reducción de la radiación e intensidad de luz, a través de diferentes técnicas como mallas sombras, pantallas térmicas, películas plásticas menos transparentes o el encalado de las cubiertas para el caso de invernaderos de vidrio y plásticos transparentes se disminuye la transpiración y temperatura y consecuentemente se reducirán los arranques de crecimiento rápido de las plantas y frutos, optimizando la acumulación del calcio en los frutos. El raleo de frutos es una practica que asegura una mejor distribución del calcio entre ellos.

Sin embargo, estos tratamientos solamente pueden ser eficaces cuando las aspersiones de calcio son regulares y aplicadas directamente a la fruta joven antes de que cualquier síntoma de pudrición apical se observe.

Se espera que la combinación de prácticas de manejo adecuadas y el uso de cultivares resistentes a la pudrición apical pueden disminuir o erradicar la incidencia de este problema, disminuyendo así las perdidas económicas ocasionada por esta fisiopatias.

NOMENCLATURA

Al^{+3} . Aluminio
 B_2O_3 . Oxido Bórico
 Ca^{+2} . Calcio
 CaO. Oxido de Calcio
 CE. Conductividad Eléctrica
 CO_3^{-2} . Carbonato
 CO_2 . Bióxido de Carbono
 Cu. Cobre
 CMV. Virus del mosaico del pepino
 dSm^{-1} . Decisiemens por metro
 Fe^{+2} . Ión Hierro con Valencia Más Dos
 $g.l^{-1}$. Gamos por litro
 $H_2PO_4^-$. Ácido Fósforico
 HCO_3^- . Bicarbonato
 H_2CO_3 . Oxido Carbónico
 $H_2SO_4^-$. Ácido Sulfúrico
 HNO_3^- . Ácido Nítrico
 H^+ . Ión Hidrogeno
 OH. Hidróxido
 K^+ . Potasio
 K_2O . Oxido de Potasio
 Mg^{+2} . Magnesio
 MgO . Oxido de Magnesio
 Mn^{+2} . Manganeso
 $mS.cm^{-1}$. Milisiemens por Centímetro
 NO_3^- . Nitrato
 Na^+ . Sodio
 NH_4^+ . Nitrato de Amonio
 NPK. Nitrógeno, Fósforo y Potasio
 pH. Potencial Hidrógeno
 P_2O_5 . Fosfato

PVY. Virus Y de la papa

SN. Solución Nutritiva

SO₄⁻. Sulfato

TBSV. Virus del enanismo ramificado del tomate

TMV. Virus Mosaico del Tabaco

ToMV. Virus del mosaico del tomate

TSWV. Virus del Bronceado del Tomate

TYLCV. Virus del Rizado Amarillo del Tomate

Zn. Zinc

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adams P, R. Holder. 1992. Effects of humidity, Ca and salinity on the accumulation of dry matter and Ca by the leaves and fruit of tomato (*Lycopersicon esculentum*). Journal of Horticultural Science 67: 137-142.
- Adams, P., L.C. Ho. 1993. Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. Plant Soil 154, 127-132.
- Adams P. 2002. Nutritional control in hydroponics. In: Savvas D, Passam H. eds. Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Athens, Greece: Embryo Publications, 211-261.
- Allam. S. M. 1993. Nutrient uptake by plants under stress conditions. En Handbook of Plant and Crop Stress. Ed. M. Pessarakli. pp. 227-246. Marcel Dekker Inc. New York.
- Alarcón, A L. 1996. El cultivo hidropónico de hortalizas extra tempranas
<http://www.horticom.com/fitech/aalarcon.html>
 Consultado en Junio, 2007.
- Alarcón, A. L., R. Madrid., F. Romojaro & E. Molina. 1998. Calcium forms in leaves of muskmelons (cv. Revigal) plants tested with different calcium compounds. Journal of Plant Nutrition, 21(9): 1897-1912.
- Alarcón, A. L. 2005. Diagnóstico Agrícola. Edita: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (Cartagena-Murcia).
- Alarcón A. L., X. Justibró., L. M. González. 2006. Bases prácticas para optimizar la asimilación del calcio. Fruticultura profesional, ISSN 1131-5660, Nº 161. (Ejemplar dedicado a: Lleida Fruit), Págs. 49-60
- Barry, C. 2000. Hidroponía: Soluciones Nutritivas. Boletín Informativo Número 7 Abril - Junio Año 2000. <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin7.htm>
 Consultado en Julio, 2007.
- Bathey N. H. 1990. Calcium deficiency disorders of fruits and vegetables. Postharvest News and Information 1: 23-27.
- Belda R. M., J. S. Fenlon., L. C. Ho. 1996. Salinity effects on the xylem vessels in tomato fruit among cultivars with different susceptibilities to blossom end rot. . Journal of Horticultural Science 71: 173-179.
- Berrios M. 2004. Pudrición Apical (Blossom end Rot) en Pimientos. Memorias de la Primera Convención Mundial del Chile 2004. Misceláneo. Pág. 340-343
- Boris C. 2004. Manual del cultivo de tomate. Centro de Inversión, Desarrollo y Exportación de Agronegocios.
http://www.fintrac.com/docs/elsalvador/Manual_del_Cutivo_de_Tomate_WEB.pdf
 Consultado en Julio, 2007.

- Carpena-Ruiz., R. O., E. Lozano-Rodríguez., A. M. Ramón., A. Garate. 1994. Efecto de la ligera deficiencia de boro sobre la absorción y transporte de Ca en plantas de tomate. Bases fisiológicas. Bioquímicas y moleculares de la nutrición mineral de las plantas. Badajoz. Edita: Conserjería de Agricultura y Comercio de la Junta de Extremadura Págs.; 119-126.
- Cepeda, J. 1991: Química de suelos, México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Trillas. Chemical Abstract.
- Cuartero J. & R. Fernández-Muñoz. 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 83-125.
- Chamarro, J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. pp. 83-84. En: Nuez, F. (ed.). El cultivo del tomate. Edición Mundi-Prensa, Madrid.
- De Reijck, G. & E. Schrevens. 1998. Cationic speciation in nutrient solutions as a function of pH. *J. Plant Nutr.* 21: 861-870.
- Ehret, D. L. & L.C. Ho. 1986a. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *An. Bot.* 58: 679-688.
- Ehret, D.L. & L.C. Ho. 1986b. Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit. *J. Exp. Bot.* 37: 1294-1302.
- Guichard S., N. Bertin., C. Leonard & Gary C. 2001. Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. *Agronomie* 21: 385-392.
- Hirschi K. 2001. Vacuolar H⁺/Ca²⁺ transport: who's directing the traffic. *Trends in Plant Science* 6: 100-104.
- Ho, L., R. Belda., M. Brown, J. Andrews & P. Adams. 1993. Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. *J. Exp. Bot.* 44(259), 509-518.
- Ho, L.C., P. Adams., X. Z. Li., H. Shen., J. Andrews & Z. H. Xu. 1995. Responses of Ca-efficient and Ca-inefficient tomato cultivars to salinity in plant growth, calcium accumulation and blossom-end rot. *Journal of Horticultural Science* 70: 909-918.
- Ho L. C. 1998a. To quantity environmental and physiological factors controlling calcium uptake, transport and utilization on yield and quality of tomato and sweet peppers in glasshouses. Final report on MAFF Project HH1309SPC.
- Ho L. C. 1998b. Improving tomato fruit quality by cultivation. In: Cockshull KE, Gray D, Seymour GB, Thomas B, eds. Genetic and environmental manipulation of horticultural crops. Wallingford, UK: CAB International, 17-29.
- Ho L. C., D. J. Hand, M. Fussell. 1999. Improvement of tomato fruit quality by calcium nutrition. *Acta Horticulturae* 481: 463-468.
- Ho L. C and P. J. White. 2005. A Cellular Hypothesis for the Induction of Blossom-End Rot in Tomato Fruit. *Annals of Botany* 95: 571-581.

- InfoAgro. El Cultivo del Tomate. <http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm> Consultado en Julio, 2007.
- Lara H. A. 1999. Manejo de la Solución Nutritiva en la Producción de Tomate en Hidroponía. Revista Terra. Vol. 17 No 3, 1999.
- Lazcano I. 2000. Deficiencia de Ca en tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). Informaciones Agronómicas, Instituto de la Potasa y el Fósforo de Canadá, 39, 7-8.
- Li Y. L., C. Stanghellini & H. Challa. 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum L.*). Scientia Horticulturae 88: 11-29.
- Lozano G. M. y E. C. Martínez. 2006. Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo. Págs. 41-60. Ediciones de Horticultura, S.L., Compendios de Horticultura. No 3. Reimpreso 2006.
- Lynette M. 2000. El Calcio: Su importancia en hidroponía. Boletín informativo No 6. Enero – Marzo - 2000. <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin6.htm> Consultado en Julio, 2007.
- Lynette M. 2001. El Gran Debate: Amonio vs Nitrato. ¿Cómo quieren las plantas que le sirvan el nitrógeno?. Boletín Informativo No 10. Enero/Marzo - 2001. <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin10.htm>
- Marcelis, L. & L. Ho. 1999. Blossom-end rot relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annum L.*). J. Exp. Bot. 50(332), 357-367.
- Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (MAFF) 1997-2000. Improvement of tomato growth and quality by manipulation of the root environment. Final report on MAFF Project HH1320SPC
- Muñoz, R. 2003. El Cultivo de Tomate en Invernadero. p. 226-262. En: J.J.Muñoz-Ramos y J.Z. Castellanos (Eds). Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México.
- Paiva E. & H. E. P. Martinez. 1998a. Occurrence of blossom-end rot tomato as a function of calcium dose in the nutrient solution and air relative humidity. J. Plant Nutr. 21, 2663-2670.
- Paiva E., R. Arruda-Sampaio & H. Prieto. 1998b. Composition and quality of tomato fruit cultivated in nutrient solutions containing different calcium concentrations. J. Plant Nutr. 21(12), 2653-2661.
- Productores de Hortalizas. 2006. Suplemento Especial. Guía de Identificación y Manejo de Plagas y Enfermedades del Tomate. Guía Productores de Hortalizas Marzo 2006.
- Puente M.J., J.D. Ruiz., E. Favela y U. López. 2004. Efecto de la solución nutritiva y del acolchado plástico sobre el crecimiento y producción del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*). Resultados del proyecto de investigación 2004. En el programa: ingeniería agrícola. Universidad Autónoma Agarraría Antonio Narro, Saltillo, Coah. Méx.

- http://www.uaaan.mx/DirInv/Resul_PI-04/paginanarro.htm Consultado en Julio, 2007.
- Rodríguez de la Rocha. 2002. Hidroponia: agricultura y bienestar. Ed. UACH. Universidad Autónoma de Chihuahua, Méx. <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/aup/pdf/bienes.pdf> Consultado en Junio, 2007.
- Satti S. M. E., A. A. Ibrahim & S.M. Al-Kindi. 1994. Enhancement of salinity tolerance in tomato: implications of potassium and calcium in flowering and yield. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 2825-2840.
- Satti S. M. E., R. A. Al-Yhyai & F. Al-Said. 1996. Fruit quality and partitioning of mineral elements in processing tomato in response to saline nutrients. *J. Plant Nutr.* 19: 705-715.
- Saure M. C. 2001. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum Mill*) – a calcium- or a stress-related disorder? *Scientia Horticulturae* 90: 193-208.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2007. Producción Agrícola, Cultivo: Tomate Rojo (Jitomate), Ciclo: Año Agrícola, 2005. Otoño – Invierno + Primavera – Verano. Modalidad: Riego + Temporal. http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp Consultado en Mayo, 2007.
- Suzuki K, M. Shono & Y. Egawa 2003. Localization of calcium in the pericarp cells of tomato fruits during the development of blossom-end rot. *Protoplasma* 222: 149 - 156.
- Schmitz-Eiberger M., R. Haefs & G. Noga. 2002. Calcium deficiency-influence on the antioxidative defense system in tomato plants. *Journal of Plant Physiology* 159: 733-742.
- Taylor M. & S. Locascio. 2004. Blossom-End Rot: A Calcium Deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 27 (1): 123 - 139
- Velasco V. Papel de la nutrición en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. *Revista. Terra.* Julio-septiembre, 1999. Vol.17, No 003.
- Wui M. & T. Takano. 1995. Effect of temperature and concentration of nutrient solution during the stage of the fruit development on the incidence of blossom-end rot in fruits of tomato, *Lycopersicon esculentum L.* *Environmental Control in Biology* 33: 7–9.
- White P. J. 2001. The pathways of calcium movement to the xylem. *Journal of Experimental Botany* 52:891-899.
- White P. J & M. R. Broadley 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany* 92: 487–511.

