

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



SOLUCIONES HIDROPÓNICAS DE BAJA CONCENTRACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE A UN RACIMO

DIRECCIÓN ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

TESIS

Que como Requisito Parcial
para obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA



PRESENTA
TEODORO GÓMEZ HERNÁNDEZ

CHAPINGO, MÉXICO
FEBRERO 1999



886691

33908

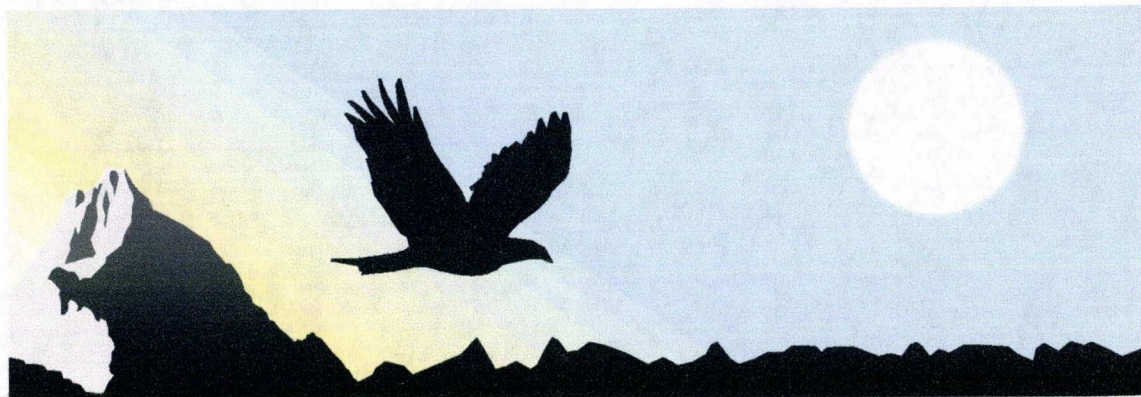
**¿No has sabido,
no has oído
que el Dios eterno es Jehová,
el cual creó los confines de la tierra?**

**No desfallece, ni se fatiga con cansancio,
y su entendimiento no hay quien lo alcance.**

**El da esfuerzo al cansado, y multiplica las fuerzas
al que no tiene ningunas.**

**Los muchachos se fatigan y se cansan,
los jóvenes flaquean y caen;
pero los que esperan a Jehová
tendrán nuevas fuerzas;
levantarán alas como las águilas;
correrán, y no se cansarán;
caminarán y no se fatigarán.**

Isaías 40: 28-31

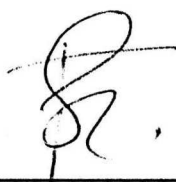


**SOLUCIONES HIDROPÓNICAS DE BAJA CONCENTRACIÓN EN LA
PRODUCCIÓN DE JITOMATE A UN RACIMO**

Tesis realizada por Teodoro Gómez Hernández bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



Dr. Felipe Sánchez Del Castillo

ASESOR:



Dra. María Teresa Colinas León

ASESOR:



M.C. Efraín Contreras Magaña

**Universidad Autónoma Chapingo
Chapingo, México, Febrero de 1999**

**SOLUCIONES HIDROPÓNICAS DE BAJA CONCENTRACIÓN EN LA
PRODUCCIÓN DE JITOMATE A UN RACIMO**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Teodoro Gómez Hernández** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura estuvo constituido por:

PRESIDENTE: _____



Dr. Felipe Sánchez Del Castillo

ASESOR: _____



Dra. María Teresa Colinas León

ASESOR: _____



M.C. Efraín Contreras Magaña

DEDICATORIA

A Jesucristo, mi Señor y mi Dios, porque sólo él es digno de “tomar el poder, las riquezas, la sabiduría, la fortaleza, la honra la gloria y la alabanza.” (Apocalipsis 5:12).

Para ti mi amada esposa Lili, porque tu amor llena de satisfacción mi vida y me impulsa a seguir hacia nuevas metas.

Con amor para mis hijos Maruati y Uandari, los dos son las preciadas saetas que el Señor puso en mi aljaba.

En memoria de mis padres: Felipe Gómez Pascoe y Sara Hernández Tagle.

A la memoria de mi hermano Enrique.

Con mucho cariño a mis hermanas Bella, Luque y Saris.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Fitotecnia por darme la autorización y la oportunidad de hacer el posgrado y volver a experimentar el ser estudiante.

A los señores Antonio Junco Naranjo y Antonio Junco Rey, por el gran apoyo que representó el poder realizar la investigación en sus invernaderos, gracias por todas las facilidades.

Mi agradecimiento a Maruati por su gran ayuda para la instalación del experimento y durante el trabajo en el invernadero, a Uandari y a Marina por su apoyo en la fase de separación de muestras y toma de datos de los frutos, así como a los amigos y familiares, y los jóvenes chapingueros cristianos que en momentos críticos me auxiliaron.

Agradezco sinceramente la participación de todos los que hicieron posible la terminación y presentación escrita de este trabajo, principalmente al Dr. Felipe Sánchez del Castillo que dirigió esta tesis y me tuvo paciencia; a la Dra. María Teresa Colinas León, que señaló deficiencias importantes y al M. C. Efraín Contreras Magaña, por sus minuciosas observaciones para corregir y mejorar el trabajo escrito.

A la familia Mendieta Melchor por el apoyo y ayuda que siempre me han brindado.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor egresó en 1968 de la Especialidad de Fitotecnia en la Escuela Nacional de Agricultura (ENA), hoy Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Su desempeño profesional lo inició en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, como responsable del Programa de Fruticultura en el Centro de Investigaciones Agrícolas de El Bajío. Antes de dedicarse a la docencia en la ENA - UACH, trabajó en la sierra oaxaqueña en un programa para el desarrollo de la comunidad rural, dirigiendo una brigada bajo la coordinación de la S.E.P. y la Comisión del Papaloapan; y como investigador en productividad de maíz de temporal en la zona de Chalco - Amecameca, Estado de México.

En su trabajo como docente ha participado en la impartición, entre otros, de cursos de Meteorología, Prácticas Agrícolas, Cultivos Básicos, Etnobotánica, Procesos de Producción Agrícola, Agricultura Regional, Metodología de la Investigación y Seminarios de Investigación para Tesis. Dentro del quehacer académico, le tocó participar en el grupo que elaboró la propuesta para la creación de la Especialidad de Divulgación Agrícola, que después se transformó en la actual carrera de Sociología Rural. Durante muchos años trabajó muy de cerca con la Coordinación de Centros Regionales, para apoyar el desarrollo del trabajo de los Centros Regionales, y participó en la elaboración del proyecto para la creación del Centro Regional con sede en Morelia, Michoacán. También formó parte del grupo de profesores que estructuraron la propuesta del Plan de Estudios de Fitotecnia en 1985.

Ha tenido oportunidad de participar como Coordinador del Museo Nacional de Agricultura y de estar al frente de la Subdirección de Investigación de la Universidad.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. Aspectos generales sobre su origen y dispersión	7
2.2. Fenología del jitomate.....	8
2.2.1. Etapas fenológicas	8
2.2.2. Requerimientos climáticos.....	9
2.2.3. Algunos aspectos botánicos.....	11
2.3. Uso del agua por los cultivos.....	13
2.3.1. Generalidades	13
2.3.2. Eficiencia en el uso del agua.....	14
2.3.3. Etapas fenológicas sensibles al estrés de agua	15
2.4. Uso del agua por el jitomate	17
2.4.1. Necesidades de agua del jitomate	17
2.4.2. Mejora de la eficiencia del jitomate en el uso del agua	20

2.4.2.1. Cultivo en suelo.....	20
2.4.2.2. Cultivo en sistemas hidropónicos.....	25
2.5. Uso de nutrimentos por el jitomate	27
2.5.1. Cultivo en suelo.....	27
2.5.2. Cultivo en sistemas hidropónicos.....	28
2.5.3. Variantes o tratamientos de la solución nutritiva.....	35
2.6. Conclusiones de la revisión de literatura.....	38
III. HIPÓTESIS	40
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
4.1. Ubicación del experimento.....	41
4.2. Materiales	41
4.3. Diseño de tratamientos	44
4.3.1 Del experimento sobre concentraciones	44
4.3.2. Para evaluar el efecto del acolchado plástico.....	45
4.3.3. Para evaluar evaporación	46
4.4. Diseño experimental	46
4.5. Variables consideradas	48
4.6. Conducción y manejo del experimento	50
4.7. Análisis estadístico de los resultados.....	51
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
5.1. Resultados de la prueba de Análisis de Varianza	52
5.2. Rendimiento en relación a las modificaciones de la solución	55
5.2.1. Efecto de la disminución general de la concentración base sobre el rendimiento.....	55

5.2.2. Efecto de la disminución de la concentración de los nutrimentos N, P, K sobre el rendimiento.....	57
5.3. Componentes de rendimiento.....	61
5.3.1. Número de frutos y peso fresco medio de frutos.....	61
5.3.2. Distribución del rendimiento por tamaño de fruto.....	66
5.3.3. Peso seco de fruto, porcentaje de materia seca y relación con el agua contenida en frutos de tipo comercial.....	70
5.4. Días a cosecha	76
5.5. Uso del agua.....	78
5.6. Evaporación.....	84
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	96

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Consumo de agua por planta de jitomate por día, en un sistema hidropónico con una densidad de 5 plantas m ⁻²	25
Cuadro 2. Peso seco de planta y número de flores y de frutos del primer racimo, en relación al contenido de potasio en una solución nutritiva.....	30
Cuadro 3. Peso y número de frutos por planta, en relación al contenido de boro en una solución nutritiva.	30
Cuadro 4. Datos de los contenidos de nutrimentos en los peciolo de las hojas abajo del racimo floral, que se emplean con fines de diagnóstico.	34
Cuadro 5. Concentraciones en mg.L ⁻¹ de nutrimentos en la solución nutritiva base y en las que se empleó el 66% y el 33%.	45
Cuadro 6. Indicadores del desarrollo fenológico a los 54 dds.	51
Cuadro 7. Resumen del análisis de varianza de las variables de frutos de jitomate. Se consideran todos los frutos cosechados.	52
Cuadro 8. Valores de la media general, Coeficientes de Variación y valores de R cuadrada en el análisis de varianza de las variables de frutos de jitomate. Se incluyen todos los frutos cosechados.	53

Cuadro 9. Resumen del análisis de varianza de las variables de frutos comerciales de jitomate.....	54
Cuadro 10. Valores de Coeficientes de Variación y valores de R cuadrada en el análisis de varianza de las variables de frutos comerciales de jitomate.....	54
Cuadro 11. Resultados de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) en las variables rendimientos totales y comerciales por unidad de superficie.....	56
Cuadro 12. Peso medio y número de frutos, del total de frutos cosechados y de frutos de tipo comercial, por unidad de superficie.....	61
Cuadro 13. Resumen del análisis de varianza de las variables relacionadas con el tamaño de fruto según su diámetro. Total de frutos.	66
Cuadro 14. Valores de la media general, Coeficientes de Variación y valores de R cuadrada en el análisis de varianza de las variables relacionadas con el tamaño de fruto según su diámetro. Total de frutos.	67
Cuadro 15. Resumen del análisis de varianza de las variables relacionadas con el tamaño de fruto según su diámetro. Frutos comerciales.	67
Cuadro 16. Valores de la media general, Coeficientes de Variación y valores de R cuadrada en el análisis de varianza de las	

variables relacionadas con el tamaño de fruto según su diámetro. Frutos comerciales.....	67
Cuadro 17. Resultados de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) en variables de porcentaje de fruto según su diámetro. Total de frutos.....	68
Cuadro 18. Resultados de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) en variables de porcentaje de fruto según su diámetro. Frutos comerciales.....	69
Cuadro 19. Resultados de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) en las variables peso seco y porcentaje de materia seca de frutos de jitomate. Frutos comerciales.....	70
Cuadro 20. Valores máximos, mínimos y medios de días a cosecha de los frutos de jitomate dentro de cada tratamiento.....	76
Cuadro 21. Porcentajes de frutos cosechados en cada fecha de corte del jitomate.....	77
Cuadro 22. Resumen del análisis de varianza de las medias del consumo de agua en cada una de las etapas en que se dividió el ciclo de jitomate.....	78
Cuadro 23. Valores de la media general, Coeficientes de Variación y valores de R cuadrada en el análisis de varianza de las medias del consumo de agua en cada una de las etapas en que se dividió el ciclo de jitomate.....	79

Cuadro 24. Consumo de agua por los tratamientos acolchado y no acolchado.....	79
Cuadro 25. Resumen del análisis de varianza de la variable rendimiento en los tratamientos acolchado y no acolchado.	83
Cuadro 26. Valores del consumo medio diario y de la evaporación media diaria, promedios de las semanas 13 a 22, expresados en términos de $L.m^{-2}.día^{-1}$	84
Cuadro 27. Coeficiente de Determinación (R cuadrada) de los diferentes modelos de regresión. Valores expresados en porcentaje.	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática de detalles y ubicación del sistema de riego.	43
Figura 2. Representación esquemática de la disposición de las macetas en las camas del invernadero.	47
Figura 3. Efecto de la disminución de la concentración base sobre el rendimiento total y el rendimiento comercial.	56
Figura 4. Efecto de la disminución de la concentración de los nutrimentos N, P, K sobre el rendimiento total.	58
Figura 5. Diferencias entre el rendimiento total y el rendimiento comercial.	59
Figura 6. Efecto de la disminución de la concentración de los nutrimentos N, P, K sobre el rendimiento comercial.	59
Figura 7. Relación entre el rendimiento total por unidad de superficie y los componentes número y peso medio de frutos.	62
Figura 8. Relación entre el rendimiento comercial por unidad de superficie y los componentes número y peso medio de frutos.	64
Figura 9. Peso seco medio de fruto en las diferentes concentraciones de la solución nutritiva.	71

Figura 10. Agua contenida en los frutos de tipo comercial, expresada mediante la relación: cantidad de agua en gramos por cada gramo de materia seca.....	73
Figura 11. Consumo acumulado de agua por plantas de jitomate bajo condiciones de acolchado y no acolchado plástico.	82
Figura 12. Consumo semanal de agua por plantas de jitomate bajo condiciones de acolchado y no acolchado plástico.	82
Figura 13. Consumo de agua en el tratamiento con acolchado plástico, evaporación y cocientes de consumo/evaporación.....	86
Figura 14. Consumo de agua en el tratamiento sin acolchado plástico, evaporación y cocientes de consumo/evaporación.....	86
Figura 15. Nomograma de la ecuación de regresión de los valores del cociente “consumo/evaporación” (FCA), para cultivo sin acolchado plástico. Período del ciclo del cultivo en semanas	89
Figura 16. Nomograma de la ecuación de regresión de los valores del cociente “consumo/evaporación” (FCA), para cultivo con acolchado plástico. Período del ciclo del cultivo en semanas.	89
Figura 17. Nomograma de la ecuación de regresión de los valores del cociente “consumo/evaporación” (FCA), para cultivo sin acolchado plástico. Período del ciclo del cultivo en días.	90

Figura 18. Nomograma de la ecuación de regresión de los valores del cociente “consumo/evaporación” (FCA), para cultivo con acolchado plástico. Período del ciclo del cultivo en días. 90

RESUMEN

Teodoro Gómez Hernández

SOLUCIONES HIDROPÓNICAS DE BAJA CONCENTRACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE A UN RACIMO

Febrero de 1999

(Bajo la dirección de F. Sánchez Del Castillo).

Este trabajo se realizó con el propósito de determinar si se podían bajar las concentraciones de la solución nutritiva que se viene usando en siembras comerciales para la producción hidropónica de jitomate bajo invernadero, sin que se afectaran el rendimiento y la calidad de la producción. Se manejó en condiciones de un sistema abierto, aplicando los riegos con un sistema de goteo. Se utilizó como sustrato arena de tezontle rojo, se empleó una densidad que corresponde a 24 plantas m^{-2} y se trabajó con el cultivar "Solarset" podado para dejar un racimo por planta. Se compararon tres tratamientos: concentración normal (control), 66% y 33% de dicha concentración; se empleó un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones y dos plantas por unidad experimental. Los rendimientos totales obtenidos con las soluciones diluidas al 33 y al 66%, fueron respectivamente 20.86 y 1.26% menores que el producido con la concentración al 100% utilizada comercialmente (testigo). En cambio, con la solución al 66% se obtuvo el mayor rendimiento comercial, el cual fue de 6.9% más que con el control y 29% más que con la solución al 33%. A pesar de esa magnitud, no hubo diferencias significativas entre dichos tratamientos. Hubo un ahorro significativo del 7.35% en el consumo de solución nutritiva cuando se usó acolchado plástico, mejorando la eficiencia del uso del agua.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum*, despunte, alta densidad, solución nutritiva, hidroponia.

ABSTRACT

Teodoro Gómez Hernández

SOLUCIONES HIDROPÓNICAS DE BAJA CONCENTRACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE A UN RACIMO

February 1999

(Under the direction of F. Sánchez Del Castillo).

This work was realized with the aim of determining if it was possible to decrease the concentrations of the nutrient solution which is using in commercial hydroponic tomato plantations under glasshouse, without affecting the yield and quality of production. It was conducted in an open system without reusing the solution, applying a drip irrigation system. Volcanic red sand, locally named *Tezontle* was used as substrate. Plant density was 24 plants.m⁻² using plants of cultivar "Solarset", pruned to let one truss per plant. Three treatments: normal concentration (control), 66% and 33% of normal concentration were compared using a randomized block design with four replications and two plants by experimental unit. The total final yields obtained with the solutions diluted at the 33 and 66% of the solution used commercially, were 20.86 and 1.26% respectively lower than that produced with the control. On the other hand, the higher commercial yield was obtained with the solution diluted at 66% being 6.9% greater than the control and 29% more than the solution at 33%. In spite of those values there was no significant differences among treatments. There was a significant reduction of 7.35% in the consumption of nutrient solution were a plastic mulch was used, improving the water consumption efficiency.

Key Words: *Lycopersicon esculentum*, trimming, high density, nutrient solution soilless culture.

I. INTRODUCCIÓN

La demanda de agua para riego, así como para otros usos, se ha incrementado al paso del tiempo; sin embargo, debe tomarse en cuenta que cada vez es más limitado el abastecimiento de la misma. Esta contradicción repercute en consideraciones de tipo ecológico, social y económico y, por ende, se presenta como una exigencia prioritaria de nuestro tiempo que el manejo del agua para el riego de los cultivos sea altamente eficiente.

Si también se toma en cuenta que se está generalizando una fuerte contaminación con productos agroquímicos de las fuentes de agua, resulta por tanto que adquiere una importancia fundamental el seguir investigando sobre la eficiencia en el uso de este recurso para mejorar la producción agrícola en general y, desde luego, sobre su eficiencia para el mejoramiento de la producción hortícola.

Sobre estos aspectos hace ya tiempo que diferentes profesionales han estado haciendo investigaciones, y se ha encontrado que el riego por goteo es un método sumamente eficiente de suministrar no solo agua, sino también fertilizantes a los cultivos de hortalizas (Lammont, 1991). A medida que las fuentes de agua para riego se tornan cada vez más escasas, el uso de la técnica del riego por goteo se ha ido incrementando, ya sea sola o junto con el empleo de coberturas plásticas para crear un sistema cerrado y un ambiente que permita obtener rendimientos mas altos de las hortalizas, manejando los cultivos con acolchados, microtúneles o invernaderos.

El uso de esas diferentes formas de los plásticos en la agricultura proporciona condiciones más apropiadas para el desarrollo de los cultivos, dando por resultado mayor calidad y cantidad de los productos, adelanto en el inicio de las cosechas, así como el poder producir en diferentes épocas y en condiciones en que se dispone de poca agua (Rodríguez e Ibarra, 1991; Ibarra y Rodríguez, s.f.). En México estas técnicas ocuparon en 1992 las siguientes superficies: 827.2 ha con invernaderos; 5,643 ha con túneles; 4,901 con acolchado y 17,454 con riego por goteo (Quero, *et al.* 1993).

La técnica del acolchado de suelo, que consiste en cubrir el suelo con una película plástica con la finalidad de crear una barrera entre el suelo y las capas atmosféricas adyacentes, ofrece las siguientes ventajas: incrementos de los rendimientos, que dependiendo del cultivo pueden variar del 10 al 150%; precocidad de los cultivos, de 10 a 30 días; reducción de los riesgos debidos a factores adversos (heladas, granizos, temporal, etc.); en algunos cultivos el empleo de acolchado permite obtener productos más limpios que en suelos desnudos, y también se pueden suprimir parcial o totalmente las labores culturales tales como el deshierbe. El ahorro de agua cuando se usa acolchado es substancial (Ibarra y Rodríguez, s.f.).

La hidroponía es también otra técnica alternativa que ofrece posibilidades especialmente para condiciones en las que el agua es escasa y se tiene la exigencia de un aprovechamiento óptimo de este recurso, como es el caso de las zonas áridas y semiáridas (Sánchez, *et al.*, 1986 y Anónimo, 1990).

Esta técnica se puede conducir bajo distintas modalidades, cuya diferencia principal consiste en colocar el cultivo en un medio exclusivamente líquido, o cultivar en un sustrato sólido, inerte y poroso, en el cual se sostienen las plantas. Sea cual fuere el sistema, todos tienen en común el que se emplea

una solución nutritiva, que contiene todo lo que es necesario para satisfacer las exigencias de nutrición mineral de la planta.

Sobre la composición de las soluciones nutritivas se han publicado muchas fórmulas para diferentes cultivos, se han ensayado diferentes concentraciones y proporciones de macro y microelementos por diversos investigadores (Sánchez y Escalante, 1983; FAO, 1990), pero hay que tener presente que la composición específica depende de las condiciones climáticas, en particular de la temperatura y la luz, la incidencia misma de plagas y de enfermedades y sobre todo de la calidad del agua que se utilice.

Además, para la concentración máxima, óptima y mínima de cada uno de los elementos que se empleen para elaborar la solución, se debe también de tomar en cuenta las necesidades nutrimentales de la planta a la que se va a aplicar, así como la edad o etapa fenológica de la misma (Anónimo, 1990) y el sistema bajo el cual se lleve a cabo el cultivo; es decir si se trata de un sistema cerrado en el cual hay recirculación de la solución nutritiva o si se trata de un sistema abierto en el cual no hay recirculación de la solución. Todos estos factores hacen difícil el dar reglas generales para la preparación de la solución (FAO, 1990).

Los trabajos que se han desarrollado fundamentalmente han sido para sistemas hidropónicos que involucran la recirculación de la solución nutritiva (sistemas cerrados) y algunos de ellos se han tomado como base para determinar soluciones que se puedan emplear en sistemas sin recirculación (sistemas abiertos). En algunos trabajos de investigación con sistemas hidropónicos cerrados se ha encontrado que es posible utilizar soluciones nutritivas con concentraciones menores que la recomendada como estándar sin afectar negativamente los rendimientos de los cultivos, pero hay pocos trabajos realizados en sistemas hidropónicos abiertos.

Pineda (1996) reporta que disminuyó la concentración de la solución nutritiva recomendada para crisantemo (*Dendranthema x grandiflorum*), buscando los niveles hasta los que se podía bajar la concentración sin que se presentaran deficiencias nutrimentales, a fin de minimizar la contaminación del medio, aumentar la eficiencia de los fertilizantes y disminuir el costo de los mismos. Sus resultados le permitieron afirmar que en un sistema abierto se puede reducir la concentración de los macronutrientes en la solución nutritiva hasta en un 50% de lo que normalmente se recomienda en los cultivos hidropónicos, sin afectar la calidad comercial (del crisantemo en su caso), debido a que el agua que se perdía era repuesta inmediatamente, de modo que la planta nunca estuvo sujeta a estrés hídrico. Sin embargo, cuando se bajó al 25% de concentración de la solución, se tuvo un menor desarrollo porque no se abastecieron las necesidades de la planta, debido (señala él) a que en ese caso sí se formó una zona de agotamiento en la vecindad de las raíces.

Específicamente para jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo se están realizando ensayos para encontrar la solución nutritiva más adecuada para su cultivo bajo un sistema hidropónico abierto, usando tezontle como sustrato. Ello obedece a que se ha estado trabajando formalmente desde hace más de 10 años en una línea de investigación sobre la producción intensiva de jitomate en hidroponía, con el propósito básico de generar un paquete tecnológico factible y redituable, a fin de lograr al menos cuatro cosechas al año, mediante un sistema de producción bajo la protección de invernadero rústico, involucrando trasplantes, podas, tutores e imbricaciones (Sánchez, *et al.*, 1986).

En cuanto a factibilidad, lo que se ha tenido como meta es un sistema que no sea tan difícil ni tan sofisticado como el que se practica en los países nórdicos, o en los Estados Unidos, sino que pueda ser llevado a la práctica por los productores del país. Es por ello que una de las bases para facilitar el manejo de la hidroponía

en este paquete, la constituye el hecho de no recircular la solución nutritiva, pues con ello se evitan problemas de salinidad, desbalance de nutrientes, precipitación de compuestos, etc., aspectos que para su manejo requieren de un mayor conocimiento técnico (Sánchez y Escalante 1983).

En uno de los trabajos realizados dentro de la línea de producción intensiva de jitomate (Torres, 1989), se hizo una revisión sobre las soluciones nutritivas utilizadas por diferentes autores y ella misma realizó una investigación utilizando siete diferentes soluciones nutritivas en un sistema abierto; sin embargo debe considerarse que se trabajó con una densidad de 4 plantas por metro cuadrado y se condujo la planta de jitomate a dos tallos y a siete racimos. Posteriormente se realizaron otros trabajos de investigación y se adquirieron experiencias con productores a escala comercial, de manera que actualmente los resultados obtenidos con este paquete tecnológico apuntan hacia la obtención de 120 racimos por metro cuadrado por año, mediante el manejo de diferentes aspectos del sistema (Sánchez, 1994; Sánchez, 1997). Una forma de lograrlo es colocando 24 plantas por m^2 y manejando la poda de la planta a un solo racimo, tratando de tener cinco ciclos al año y una productividad cercana a las $600 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$.

Al aplicar el conjunto de resultados en condiciones de producción comercial, se ha encontrado que el costo de la solución nutritiva que se requiere es de aproximadamente ocho a diez pesos por cada metro cúbico, y eso representa entre el 30 y el 33% del costo total de operación de un ciclo (Sánchez, 1996; Gómez y Ponce, 1997). Dicha situación ha despertado la inquietud de buscar alternativas que sean más eficientes y que permitan disminuir los costos de producción, sin afectar los rendimientos.

En general en todo el sector agrícola se tiene la necesidad de usar más eficientemente los recursos de que se dispone (agua, suelo, fertilizantes, etc.), para responder a la gran demanda, en volumen y calidad, de alimentos. Es por ello

que se requiere generar o mejorar técnicas que permitan el incremento de la producción, así como la obtención de mayor calidad y es necesario lograrlo en las mejores épocas para su venta tanto en el mercado interno como para el mercado de exportación, teniendo el cuidado de producir con el menor deterioro ecológico posible y con el mejor aprovechamiento de los recursos humanos, ambientales y económicos (Rodríguez e Ibarra, 1991; Quero, et al. 1993).

Por todo lo anterior, en este trabajo se planteó lo siguiente como problema de investigación:

determinar los efectos de diferentes porcentajes de dilución de la solución nutritiva base empleada para la producción comercial de jitomate, en un sistema hidropónico abierto en el que se utiliza agregado de tezontle como sustrato, y la planta se maneja a un racimo.

Y como se empleó un sistema para medir cotidianamente el agua consumida para tratar de regar con eficiencia, se consideró también importante **estimar el ahorro de solución que se puede lograr con la técnica del acolchado plástico del sustrato.**

Se planteó que si al abordar estos problemas se podía encontrar un uso mas eficiente y económico, tanto de los nutrimentos como del agua en el cultivo de jitomate conducido a un racimo, se tendría una repercusión inmediata en el sector productivo, pues se determinó realizar el trabajo en las condiciones de invernadero en que se está produciendo actualmente en forma comercial en el municipio de Texcoco, Estado de México.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aspectos generales sobre su origen y dispersión

El jitomate es una de las hortalizas de mayor importancia en la mayoría de las regiones del mundo al grado que se le considera la hortaliza que más se cultiva y consume en el planeta y, a pesar de ser originaria de los trópicos americanos, ha alcanzado su mayor desarrollo en otras áreas. Se considera que las formas silvestres de las que se domesticó el jitomate crecieron originalmente en la región andina que hoy comparten Perú, Ecuador, Bolivia, Colombia y Chile, pero que, a pesar de que faltan pruebas definitivas, las fuentes señalan que su cultivo y domesticación se registra primero en México. También se considera que su antecesor más directo es el jitomate silvestre *L. esculentum* variedad *cerasiforme* que es espontáneo en toda América tropical y subtropical (Rick, 1978).

Fue llevado por los españoles a Europa y durante mucho tiempo se le asoció a otras Solanáceas venenosas, por lo que la expansión de su cultivo ocurrió en los dos últimos siglos, es decir, es relativamente reciente; se extendió primero a las regiones templadas de Europa y después a Norteamérica, donde se introdujo hacia finales del siglo XVIII, pero ahí adquirió importancia hasta finales del siglo XIX y principios del XX. Se señala que dicha expansión fue favorecida por un cambio en el sistema de polinización. Resulta que los cultivares primitivos muestran un alto grado de alogamia debido a que los estilos sobresalen de la flor y la polinización se realiza por los insectos; en cambio, los tipos en cultivo son de estilos cortos, lo que favorece la autopolinización.

La aparición de ese carácter hizo factible su cultivo en regiones en que no existen los polinizadores naturales y la autogamia inducida por tales circunstancias puede haber llevado a una reducción de la variabilidad genética (Purseglove, 1968; León, 1987; Anónimo, s.a; Sánchez, 1994 y Esquinas y Nuez, 1995).

2.2. Fenología del jitomate

2.2.1. Etapas fenológicas

El período o ciclo vegetativo del jitomate se puede dividir en cinco etapas fenológicas o períodos de desarrollo (Doorenbos y Kassam, 1979; Olmos *et al.* 1982), con una duración total de 100 a 150 días para la primera cosecha cuando se cultiva en condiciones de campo.

	E t a p a s	Días	Acumulados
0	Establecimiento (en vivero)	25 - 35	25 - 35
1	Periodo vegetativo	20 - 25	45 - 60
2	Floración	20 - 30	65 - 90
3	Crecimiento de fruto	20 - 30	85 - 120
4	Maduración	15 - 30	100 - 150

En las cosechas siguientes, los períodos 2, 3, y 4 se traslapan, y una vez que se inicia la cosecha, los cortes se pueden hacer cada 5 a 7 días. Dependerá, por supuesto, de la planta específica y de la variabilidad de las condiciones que se presenten, el que se puedan realizar de 4 a 10 cortes.

Bajo condiciones de invernadero en la región de Chapingo, se ha encontrado que con variedades de hábito de crecimiento indeterminado el cultivo se puede conducir para que produzca seis racimos en un período de 180 días. La cosecha del primer racimo se obtiene alrededor de los 120 a 130 días y después un racimo cada diez días (Sánchez, 1996); lo cual significa que en esas condiciones y

manejo, también se está presentando la floración hacia los 60-65 días y para la formación y maduración de los frutos del primer racimo se requieren otros 60 días (Guenkov, 1969). También Rick (1978) menciona que el fruto requiere de 40 a 60 días desde la floración para alcanzar la madurez completa y que una vez que ha cuajado, el fruto se desarrolla rápidamente hasta su desarrollo normal en cerca de la mitad de ese tiempo.

2.2.2. Requerimientos climáticos

En cuanto a la duración del fotoperíodo, la planta de jitomate es indiferente. Por lo que toca a la temperatura, los jitomates son plantas que requieren de altas temperaturas; la temperatura óptima para el crecimiento es de $22 \pm 7^{\circ}\text{C}$. Es decir, entre los límites $22 \pm 7^{\circ}\text{C}$ la planta crece normalmente, y si la temperatura sobrepasa estos límites, las condiciones para el crecimiento se hacen mas inadecuadas y, a una temperatura de $22 \pm 14^{\circ}\text{C}$, el crecimiento se interrumpe, pues se alcanzan los puntos mínimo y máximo agrotécnicos (Guenkov, 1969).

Efectivamente, la temperatura media diurna óptima para su desarrollo es de 18 a 25°C y las temperaturas óptimas nocturnas entre 15 y 22°C (Cásseres, 1966; Guenkov, 1969). Además, con una temperatura constante menor de 15°C se detiene la floración, y si la temperatura llega a 10°C cesa el crecimiento. Con temperaturas por arriba de 35°C se retarda la fotosíntesis, formándose hojas más pequeñas, los tallos son más delgados y los racimos más pequeños.

Si hay diferencias muy grandes entre las temperaturas diurnas y nocturnas se afecta en forma negativa el rendimiento. Es más, se considera que el crecimiento y desarrollo del jitomate está determinado principalmente por las temperaturas nocturnas (Doorenbos y Kassam, 1979).

En el caso de altas temperaturas nocturnas (22-30 °C) los jitomates forman menos flores que cuando las temperaturas son de 8-16 °C (Guenkov, 1969). Por eso las altas temperaturas de verano son un factor de importancia que obstaculiza la producción en este período, máxime si va acompañada de baja incidencia de luz solar y se presenta una humedad alta, pues da por resultado un crecimiento vegetativo excesivo y una mala producción de fruto (Purseglove, 1968).

Trabajos hechos en Colombia (Anónimo, s.a.) han permitido encontrar que las temperaturas para el desarrollo de cada una de las etapas de la planta de jitomate son:

Etapas	Temperaturas (°C)		
	Óptima	Máxima	Mínima
Germinación.....	15.5 - 29.5	35	10
Desarrollo.....	21.0 - 24.0		
Floración y cuajamiento de los frutos.....	17.0 - 22.0		
Para mejor color de los frutos.....	18.0 - 24.0		

Así que si el ambiente interno o externo no es favorable para el cuajado, una vez que se han abierto las flores, se caen del racimo. Entre las causas más frecuentes se señalan a la falta de polinización y las bajas o las altas temperaturas; específicamente sobre estas últimas se señala que si se somete la planta a temperaturas que repentinamente alcanzan los 42 °C o más, se producirá a continuación una esterilidad que puede persistir durante una semana, cuando menos; pero también se mencionan como factores causales la luz insuficiente, la sobrefertilización y una fructificación precoz (Rick, 1978). Este autor señala que para corregir la dificultad de la polinización que se presenta en el ambiente de un invernadero se recomienda utilizar métodos que hacen vibrar las flores para estimular la liberación del polen.

Cuando el sustrato en que se cultiva el jitomate alcanza temperaturas excesivas, hay un malfuncionamiento de la raíz, se presenta una transpiración

alta que hace que el Ca sea transportado hacia las hojas y se causa una deficiencia de Ca en los frutos, por ser un elemento poco móvil y se presenta entonces la podredumbre del ápice (Cuartero, 1995).

En cuanto a las exigencias de luz para que se formen buenos frutos, es necesario un mínimo de luz de 4000 a 6000 pie/bujía (Guenkov, 1969; Sánchez, 1996). En caso de escasez de limitación por luz el ciclo vegetativo puede prolongarse demasiado.

La luminosidad y la duración de la misma también afectan la relación que debe haber de nitrógeno y de potasio en la solución nutritiva para el jitomate, si se trata de un ciclo que se inicia en el período de días cortos y se completa cuando el período es de días largos, la relación N:K más apropiada para las primeras fases vegetativas es de 1:5 (80:400 ppm respectivamente); de 1:3 (110:330 ppm) en las fases intermedias, y de 1:1.5 (140:210 ppm) en las fases avanzadas (Anónimo, 1990; Durany, 1982, citado por Castro, 1994).

2.2.3. Algunos aspectos botánicos

El incremento del rendimiento de jitomate puede estar asociado al aumento en el número de flores de las inflorescencias o con una velocidad alta de iniciación de inflorescencias sucesivas, lo cual puede ser importante cuando se quieren altos rendimientos en las etapas tempranas de la vida del cultivo. Sin embargo, el número de flores que logran establecerse ("amarrar") por inflorescencia, determina la competencia que se establece entre los frutos que se forman y por tanto el tamaño final de los mismos (Hurd y Cooper, 1967; Veliath y Ferguson, 1972).

En muchos cultivares de jitomate la inducción floral se realiza dentro de las primeras tres semanas, precisamente cuando la tercera hoja tiene unos 10 mm de longitud. Y ese período es durante el cual el número de flores de la primera

inflorescencia puede ser afectado por el medio ambiente. Dicha etapa se inicia a los 8 días y se prolonga por una o dos semanas (Calvert, 1964; Chamarro, 1995).

La inflorescencia puede ramificarse si durante la iniciación floral se presentan condiciones de bajas temperaturas. Al respecto se menciona que en un estudio se tuvo una ramificación del 100% cuando se sometió la planta a temperaturas de 15.6 °C / 4.4 °C (temperaturas día / noche, respectivamente) durante 14 días, dicho tratamiento se inició a los 23 días de la siembra (Hurd y Cooper, 1970).

También Hurd y Cooper (1967) observaron que hay interacción entre la irradiancia y la temperatura. En el verano cuando la irradiancia es alta, una reducción de la temperatura de 15 °C a 10 °C provocó que se duplicara el número de flores y que se ramificaran las inflorescencias; en cambio en el invierno cuando la irradiancia es baja, se redujo el efecto de la temperatura. Sin embargo, hay que tener en cuenta que se retrasó el desarrollo de las flores, pues la apertura floral ocurrió 18 días después en comparación con aquellas plantas que crecieron a 15 °C en ese período.

Por otra parte, bajo esas condiciones limitantes de luz, Lake (1967, citado por Atherton y Harris, 1986) mostró que el desarrollo de las flores del primer racimo se puede promover mediante la poda del tallo principal, ya que así se elimina la competencia con otros órganos demandantes de los asimilados.

La duración del estado vegetativo se puede prolongar a causa de una deficiencia de nutrimentos inorgánicos, ya que hay datos que muestran que la iniciación floral se retrasó cuando fue bajo el abastecimiento del nitrógeno, del fósforo y del potasio (Takahashi, Eguchi y Yoneda, 1973, citados por Atherton y Harris, 1986). Es decir, la deficiencia mineral generalmente retarda el desarrollo floral y puede incluso causar aborto de flores, y mas aún si hay condiciones de altas temperaturas y estrés de agua. Pero también se menciona que ello puede ser

en realidad el reflejo de un retardo en el crecimiento y desarrollo de la planta total, más que en sí el efecto específico de las deficiencias de nutrimentos sobre el retardo de la floración. Pero, a fin de cuentas, el tamaño de la primera inflorescencia es más afectado por el abastecimiento de nutrientes inorgánicos que el tiempo de su iniciación, pues de hecho el incremento en nitrógeno y potasio pueden favorecer el incremento en el número de flores de la primera inflorescencia (Atherton y Harris, 1986).

2.3. Uso del agua por los cultivos

2.3.1. Generalidades

Las condiciones que son favorables para la función fotosintética y por lo tanto para la obtención de rendimientos altos, también favorecen altas tasas de transpiración. La transpiración es definida como la pérdida de agua en forma de vapor que se presenta en las plantas. Y este fenómeno es, básicamente, un proceso de evaporación que es afectado tanto por factores internos como externos. Dentro de los internos se pueden mencionar el área; la estructura y la exposición foliar; el comportamiento estomático y la eficiencia de la raíz para absorber agua. Como factores externos se incluyen la irradiación, el déficit de presión de vapor del aire, la temperatura, el viento, la disponibilidad de agua en el suelo, etcétera (Larqué-Saavedra y Trejo, 1990).

Debe considerarse que a diferencia de la evaporación desde una superficie acuosa, la transpiración es modificada por la estructura de la planta y el comportamiento de los estomas que operan en concordancia con los principios físicos que rigen la evaporación. Si los estomas se mantienen abiertos, se pierde agua, pero hay más disponibilidad de bióxido de carbono; si por el contrario se cierran, la pérdida de agua es mínima, es decir, hay ahorro de agua, pero la

fijación de CO_2 se hace mínima y por lo tanto la tasa de fotosíntesis es afectada (Kramer, 1974). Así que lo anterior representa un dilema a nivel estomático (Larqué-Saavedra y Trejo, 1990).

Toda esta problemática muestra que es necesario conocer la eficiencia en el uso del agua por las especies o sus variedades (Rodríguez, 1986), así como encontrar prácticas que permitan el manejo de los cultivos disminuyendo el consumo del agua, pero sin dañar por estrés a las plantas (Kramer, 1983).

2.3.2. Eficiencia en el uso del agua

Lo expresado anteriormente significa que la práctica del riego necesita ser hecha tan eficiente como sea posible en términos del uso del agua, porque además el agua para propósitos de riego a menudo es deficitaria, y porque muchas veces la respuesta por costo unitario de riego se reduce, debido al uso de cantidades excesivas de agua (Salter y Goode, 1967).

Desde luego que es importante el aspecto de costos, pero también se ha definido a la eficiencia de la transpiración como la relación entre la acumulación de materia seca y la transpiración, lo cual permite visualizar el rendimiento agronómico de los cultivos en términos de uso del agua. Es decir, el uso eficiente del agua se refiere, en términos generales, a la cantidad de agua usada por unidad de material vegetal producido.

Sin embargo, el concepto es usado en forma diferente por los agrónomos y por los fisiólogos. Por ejemplo, se emplea para evaluar la capacidad de asimilación de bióxido de carbono por unidad de agua transpirada por las plantas; o se utilizan otros conceptos tales como "eficiencia de transpiración", o "tasa de uso de agua" para designar una medida de esa eficiencia en el uso del agua, que relaciona la cantidad de materia seca producida, con el agua consumida durante el ciclo

vegetativo del cultivo, en términos de miligramos de materia seca producida por gramos de agua por día ($\text{mg MS.g H}_2\text{O}^{-1}.\text{día}^{-1}$), como un concepto análogo a parámetros fisiotécnicos que se han desarrollado, tales como: tasa de crecimiento relativo, tasa de asimilación neta, etc. (Rodríguez, 1986).

Como ya se mencionó, las condiciones que favorecen la función fotosintética, también favorecen altas tasas de transpiración, así que una técnica prometedora para el incremento de la producción, o por lo menos para el ahorro de agua, es el manejo de la planta en forma adecuada, en concordancia con sus necesidades de agua, ya que las exigencias de humedad varían con la edad de la misma (Kramer, 1974). En otras palabras, el riego regular debe garantizar el cumplimiento de las exigencias que presentan los cultivos en cuanto al agua, según las necesidades en el transcurso del ciclo vegetativo (Aidárov, *et al.*, 1985).

2.3.3. Etapas fenológicas sensibles al estrés de agua

Se sabe que la tensión hídrica del suelo (tanto deficiencias como excesos de agua) en ciertas etapas críticas del crecimiento de la planta, causan mayores daños que en otras etapas fenológicas (León, 1984). O dicho de otra manera, para una planta dada, las condiciones de estrés por agua, pueden tener un marcado efecto durante una cierta etapa sensible a la humedad, más que en otras etapas; además de que cada órgano y proceso fisiológico puede responder diferencialmente a las alteraciones en el abastecimiento de agua.

En resumen, hay un cierto nivel de humedad óptimo en determinada etapa de desarrollo del cultivo, que produce un rendimiento máximo; sin embargo, para cada tipo de cultivo, pueden ser significativamente diferentes las etapas de desarrollo en

las que son más sensibles a cambios en el contenido de humedad del suelo, (Palacios y Martínez, 1978)¹.

Es decir, en la práctica se requiere encontrar la relación entre el rendimiento (y sus componentes) y las variaciones de la humedad del suelo en cada etapa fenológica del cultivo. Por ejemplo, en un trabajo con trigo (Rodríguez, 1978) se encontró que si antes de volver a regar, se dejaba que la tensión de la humedad bajara a 15 atmósferas cuando el cultivo se encontraba en la etapa fenológica de período vegetativo (de siembra a inicio de floración); luego se dejaba que bajara sólo hasta 3 ó 6 atmósferas cuando se encontraba durante la etapa de floración y que después bajara a 8 ó 12 atmósferas en la etapa de llenado de grano, el rendimiento del trigo no se afectaba y en cambio había un ahorro de agua. Así que en términos de atmósferas de tensión se encontró que las mejores fórmulas de riego fueron: 15 - 3 - 12 y 15 - 6 - 8 (Cada cifra corresponde a una etapa fenológica).

Hay una revisión muy amplia (Salter y Goode, 1967) de investigaciones realizadas sobre el efecto de la tensión del suelo en diferentes etapas de desarrollo de una gran diversidad de cultivos y su efecto sobre el rendimiento, con el propósito de encontrar indicaciones útiles de cómo usar mas eficientemente el agua, bajo la consideración precisamente de que hay una respuesta diferencial según la etapa de desarrollo del cultivo.

Sin embargo, no hay que perder de vista que la respuesta de las plantas a la humedad del suelo es influenciada por muchos factores, entre ellos se puede mencionar la cantidad de agua disponible para cada planta dentro del volumen de

¹ En su revisión amplia sobre el tema, Palacios y Martínez (op. cit.), citan a autores que apoyan la teoría de la variabilidad del rendimiento, como resultado de la variabilidad en el régimen de humedad del suelo. También indican que la reducción en el rendimiento de los cultivos no es una simple función de la evapotranspiración total, sino que depende de las tensiones a que la planta ha sido sometida en una particular etapa de su desarrollo fisiológico y que una alta tensión del agua en el suelo, en cualquier momento durante la floración, no es deseable, porque produce un ineficiente uso del agua.

suelo disponible para las raíces. También muchos factores pueden afectar la cantidad de agua evapotranspirada (ET) para un cultivo en particular. Entre ellos se pueden incluir la planta, el suelo, factores del manejo del cultivo y factores ambientales. Y, bajo condiciones ilimitadas de riego, la tasa de evapotranspiración diaria para plantas individuales está directamente relacionada a los procesos meteorológicos que afectan la demanda evaporativa y la etapa de desarrollo del cultivo o el porcentaje de cobertura (Jones, *et al.*, 1984).

2.4. Uso del agua por el jitomate

2.4.1. Necesidades de agua del jitomate

Las necesidades totales de agua después del trasplante que requiere el jitomate producido en el campo en 90 a 120 días, están en el intervalo de 400 a 600 mm (Doorenbos y Kassam, 1979). Lo que significaría un consumo medio diario de 3.3 a 6.6 litros por metro cuadrado durante ese período.

Ahora bien, dichos autores mencionan que la necesidad máxima de agua se puede calcular mediante la fórmula $Et_m = k_c \times Et_o$ en que Et_m es Evapotranspiración máxima en mm.día⁻¹; k_c es un Coeficiente de cultivo y Et_o es la Evapotranspiración de referencia en mm.día⁻¹.

Para la evapotranspiración de referencia presentan una tabla para diferentes regiones agroclimáticas, en función de la temperatura media diurna y también una tabla con valores de k_c para diferentes cultivos. Indican que dichos valores de k_c para cada cultivo varían con la etapa de desarrollo y en cierta medida con la velocidad del viento y la humedad. Consideran que para la mayoría de los cultivos el valor aumenta desde un valor reducido en el momento de la nacencia hasta un valor máximo durante el período en que el cultivo alcanza su pleno desarrollo y declina a medida que madura el cultivo.

Los valores estimados del coeficiente o factor de cultivo (k_c) para cada etapa del cultivo de jitomate son los siguientes:

- a) durante la Etapa Inicial, de 0.4 a 0.5 (por 10 a 15 días);
- b) durante la Etapa de Desarrollo es de 0.70 a 0.80 (por 20 a 30 días);
- c) en la Etapa de Mediados de Temporada es de 1.05 a 1.25 (30 a 40 días);
- d) en la Etapa de Finales de Estación es de 0.80 a 0.95 (por 30 a 40 días); y,
- e) en la Etapa de Recolección es de 0.60 a 0.65.

Por tanto, si se considera el valor máximo de la evapotranspiración de referencia que ellos proponen para zonas templadas, se puede encontrar que las necesidades máximas de agua para cada etapa serían las siguientes:

Etapa del cultivo:	Necesidades de agua (en litros/m ² /día)
Inicial (10 a 15 días)	3.6 a 4.5
Desarrollo (20 a 30 días)	6.3 a 7.2
Media (30 a 40 días)	9.45 a 11.25
Final (30 a 40 días)	7.2 a 8.55
Recolección (20 a 30 días)	5.4 a 5.85

Como ya se dijo, es necesario considerar en qué etapas de desarrollo son más afectados los cultivos por las condiciones de estrés de agua. Para el caso del jitomate se señala el siguiente orden de susceptibilidad: la floración (etapa temprana) es más susceptible que la formación de cosecha (especialmente al inicio del amarre de frutos y durante el agrandamiento del fruto) y ésta es más susceptible que el periodo vegetativo (principalmente en el trasplante e inmediatamente después) (Salter y Goode, 1967; Doorenbos y Kassam, 1979).

Un déficit moderado durante el período vegetativo favorece el desarrollo de las raíces. Si la deficiencia de agua es durante el período de floración se puede ocasionar la caída de la flor. Así que se recomienda que durante las diferentes etapas se mantenga un nivel de agua que no llegue a ser inferior al 40% del agua

disponible y que el nivel de agotamiento se puede aumentar durante el período de maduración hasta el 60 o el 70%. Por lo que si por alguna circunstancia el suministro de agua tiene limitaciones, se pueden hacer algunos ahorros durante el período vegetativo y durante la maduración.

Sin embargo para esa última etapa hay que tener presente que la variación de la humedad del suelo causa el que los frutos se rajen, por lo que es importante que después de formado el fruto y sobre todo después de empezar a madurar, las plantas deben ser regadas regularmente (Cásseres, 1966; Guenkov, 1969; Doorenbos y Kassam, 1979).

Por otra parte, se debe tener mucho cuidado cuando la evapotranspiración máxima llega a ser de 5 a 6 mm por día, pues se ve afectada la absorción de agua para atender todas las necesidades del cultivo si se ha agotado más del 40% del agua total disponible en el suelo (Salter y Goode, 1967).

En contraparte, también se ha encontrado que un riego excesivo durante el período de floración, aumenta la caída de la flor y reduce la formación de fruto, e inclusive se puede ocasionar un crecimiento vegetativo excesivo y un retraso en la maduración. Otra respuesta a las condiciones de saturación se manifiesta por la muerte de las raíces mas pequeñas, de manera que se puede medir también la relación parte aérea/raíz para evaluar estos efectos.

Finalmente, Doorenbos y Kassam (1979) consideran que una buena eficiencia de utilización del agua en jitomate cultivado en el campo es del orden de 10 a 12 kg de fruto por m³ de agua.

2.4.2. Mejora de la eficiencia del jitomate en el uso del agua

2.4.2.1. Cultivo en suelo.

El potencial genético de un cultivo y las condiciones climáticas bajo las cuales se desarrolla, determinan la producción que se puede lograr. Sin embargo la cantidad que se alcanza depende de la precisión con la que se lleven a cabo los aspectos técnicos, y en particular de la congruencia entre aquellos aspectos técnicos del suministro de agua con las necesidades biológicas de agua en la producción del cultivo. Es decir, el mejor uso del agua disponible debe estar dirigido a lograr una producción eficiente y altos rendimientos, lo cual exige un conocimiento adecuado del efecto del agua (tanto de lluvia como de riego) en el cultivo, así como de los métodos para su manejo.

Por ejemplo, en un experimento conducido en Alabama con diferentes sistemas de riego, Jones, *et al.* (1984) encontraron que al aplicar el agua mediante microrriego, se pudo producir jitomate usando menos de la mitad del agua que se empleó con otros métodos, sin que hubiera diferencias en el rendimiento obtenido.

El microrriego es un sistema con el que se aplica agua solo a una parte del área del cultivo, y comprende al riego por goteo y por microaspersión. Cada uno de esos métodos tiene ventajas y limitaciones y puede adaptarse a condiciones variadas de suelo, cultivo y clima (Anónimo, 1991).

Asimismo, en Taiwan se condujo un ensayo de tratamientos que consistieron en regar cuando el agua disponible del suelo era de 80, 65, 50, ó 25%, en este caso también se comparó el empleo del riego por surcos con la micro irrigación. Los rendimientos de jitomate fueron similares para todos los tratamientos de micro irrigación y mayores que con el riego por surcos (Jones, *et al.*, 1984).

Ahora bien, hay tres enfoques generales para la determinación del momento conveniente para regar. Un método consiste, como en el último caso descrito, en medir el contenido hídrico del suelo², el segundo consiste en medir el contenido hídrico o la tensión hídrica de la planta, y el tercero en medir la evaporación y calcular la necesidad de agua de un cultivo (Kramer, 1974).

Como el contenido de la humedad del suelo influye sobre la transpiración de la planta y ésta sobre la producción, con esta idea se han llevado a cabo diferentes líneas de investigación que apuntan hacia la aplicación de menor cantidad de agua, hacia la disminución de las pérdidas de agua por evaporación, o a lograr las dos cosas. De ahí que se ha desarrollado también mucha investigación implicando el uso de acolchados tanto orgánicos como plásticos.

En México, por ejemplo, para probar que el riego por goteo y la plasticultura permiten incrementar la producción y la calidad de las cosechas, y probar que ahorran agua y fertilizantes, entre otros beneficios, se realizó un trabajo en el que se obtuvieron rendimientos de jitomate de 63.5 t.ha⁻¹ empleando riego por goteo, fertigación y acolchado, contra la obtención de 33 t.ha⁻¹ cuando se empleó riego por gravedad con acolchado blanco (Váldez y Mariscal, 1995).

En otros trabajos hechos en dos diferentes Distritos de Riego se reportan las diferencias de los rendimientos obtenidos cuando se utilizó riego por goteo, en comparación a cuando se empleó riego superficial, así como las láminas que se usaron y de ello es importante destacar que la eficiencia en el caso del riego superficial fue de 2.63 a 5.14 kg.m⁻³, mientras que con el riego por goteo la eficiencia fue de 6.49 a 14.48 kg.m⁻³ (Peña, *et al.*, 1980).

² Recordar que la medida básica de la humedad del suelo se hace en muestras de suelo en las que se conoce su peso o su volumen y que el contenido de agua se expresa como gramos de agua por gramos de suelo seco, o en milímetros de agua por centímetros cúbicos de suelo seco.

Por otra parte, en un ensayo que duró dos años (Pitts, *et al.*, 1988), se transplantaron plántulas de jitomate cv. 'Sunny' en enero de cada año y se comparó el riego por goteo con el riego superficial por surco; pero en ese caso en el primer sistema se puso tubería de plástico bajo un acolchado de polietileno. Un detalle a considerar es que dichas tuberías se colocaron a nueve pulgadas (22.86 cm) de las filas de plantas. En este caso si bien las diferencias en rendimiento por acre y en el tamaño del fruto fueron ligeras, lo importante fue que se usó mucho menos agua con el sistema de riego por goteo, que con el sistema de riego superficial por surco.

Parte del mismo equipo de investigadores (Pitts, *et al.*, 1989) realizó un experimento en un suelo de arena fina (con un contenido de más de 98% de arena en el horizonte A), en el que se regó un cultivo de jitomate con un sistema de goteo con una línea lateral colocada a 12 ó 24 cm al lado de la hilera de plantas, o con dos líneas laterales colocadas a 12 ó 24 cm en ambos lados. Resultó que no hubo diferencias significativas en el rendimiento total a causa del número de líneas laterales usadas por hilera, pero las líneas colocadas a 24 cm de la hilera causaron rendimientos más altos (53.2 t.ha⁻¹) que aquellas colocadas a 12 cm de la hilera (44.6 t.ha⁻¹).

Vellidis, *et al.* (1990) emplearon lisímetros para determinar la redistribución y los patrones de extracción del agua por un cultivo de jitomate, conducido bajo suelos arenosos de Florida y en condiciones de manejo mediante riego por goteo y en camas con acolchados plásticos, sus resultados indican que, para este sistema de cultivo, el riego se debe concentrar a distancias horizontales no mayores a los 25 cm de la línea de plantas y en profundidades menores a los 30 cm.

En Italia Pascale, *et al.* (1992) realizaron la experiencia de un ensayo en el que el jitomate se regó colocando las líneas de riego cada 1, 2, ó 3 hileras de plantas y en los tres casos el volumen de agua de riego empleado fue de 400 m³ por

hectárea (corresponde a 40 litros por m²). Los rendimientos comerciales de estos tratamientos fueron 76.2 t.ha⁻¹ cuando se pusieron las líneas cada 3 hileras; y 90.6 t.ha⁻¹ y 92.8 t.ha⁻¹ cuando se pusieron a cada 1 o 2 hileras, respectivamente. También se tuvieron los tratamientos sin y con acolchado de polietileno negro, resultando que el acolchado incrementó el porcentaje de producto comercial en un 6%.

En una serie de trabajos de investigación de varios años, en la que se empleó el jitomate cultivar 'Sunny', plantado en un suelo arenoso con uso de riego por goteo y acolchado con polietileno, se buscó evaluar sus requerimientos de riego así como el efecto del estrés causado por sequía sobre el rendimiento de fruto y sobre su calidad por tamaño (Smajstrla y Locascio, 1990 y 1994). Se empleó el criterio de aplicar el riego en forma diaria en una cantidad 0.5 veces la evaporación diaria del tanque tipo "A", o cuando la tensión del agua del suelo alcanzó 10 o 15 centibares. La diferencia más grande en la cantidad de agua de riego aplicada con un criterio u otro, ocurrió durante las fases tempranas del desarrollo. En cambio, se aplicó muy poca agua de riego cuando las plantas se encontraban entre el día 93 al 120, cuando el criterio base fue el tensiómetro.

En los dos años que se hizo esta prueba, se aplicó más agua de riego cuando se basó el cálculo en la evaporación del tanque que cuando se basó en las lecturas del tensiómetro. Pero de cualquier modo, el sistema usado para la planificación del riego no tuvo efecto en el rendimiento comercial total en ninguno de los dos años.

En el primer año resultó que la cantidad de agua aplicada para el riego de referencia (cuando la tensión del agua del suelo alcanzó 10) fue igual a 0.5 veces la evaporación medida en tanque tipo "A".

En experimentos efectuados durante tres estaciones invernales sucesivas, se probaron tres regímenes de humedad relacionados con la evaporación del tanque tipo "A"; con riego por goteo se aplicó el 0.4; el 0.6; ó el 0.8 de la medida de la evaporación y se combinaron estos tratamientos con tres tratamientos de acolchado (no acolchado, plástico negro y rastrojo de caña de azúcar). Otros tres tratamientos combinaron irrigación por aspersión en la superficie con no acolchado, plástico negro y rastrojo de caña de azúcar (Shrivastava, *et al.*, 1994). Los rendimientos más altos, cerca de 51 t.ha^{-1} , y un ahorro de 44% de agua en el riego, se obtuvieron usando la combinación de riego por goteo a 0.4 de la evaporación y con el acolchado con rastrojo de caña de azúcar. Este tratamiento también dio la máxima eficiencia en el uso del agua: 163 kg por hectárea por milímetro de agua aplicada. (Esto significa, que se usaron 312.9 mm de lámina total).

El tratamiento que combinó riego por goteo a 0.4 de la evaporación con acolchado de plástico negro, redujo la infestación de la maleza en 95%, aumentó el rendimiento en un 53% y resultó también en una economía de 44% en el agua de riego, en comparación con el riego por inundación y sin acolchado.

Peña, *et al.*, (1980) reportan que se estudió la producción de jitomate en un invernadero de tipo familiar ($3.25 \times 6.0 \text{ m}$) con cubierta de polietileno, en el que se usó riego por goteo en un sustrato de arena prácticamente inerte, por lo que se regó con solución nutrimental y agua. Para calcular las necesidades de riego, emplearon una forma muy sencilla de hacerlo obteniendo la evaporación en un bote de cinco litros de capacidad y de esa manera se calculó el volumen correspondiente de agua a utilizar por metro cuadrado repartido en tres riegos al día.

De esa manera se obtuvieron rendimientos de $640 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ y se empleó una lámina de riego de 203 cm. (Esto representa 315.2 kg por hectárea por milímetro

de agua aplicada, ó 31.52 kg.m^{-3} , lo cual es casi tres veces mas la cantidad que se menciona para cultivos en suelo). Señalan que las aplicaciones diarias variaron de dos a siete litros de solución nutrimental por metro cuadrado.

En otro trabajo de riego por goteo en condiciones de invernadero realizado también en el Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR), se comparó el cultivo en arena y en suelo de azolve con materia orgánica. Los resultados fueron la obtención de 190 t.ha^{-1} en el suelo de azolve, para lo cual se requirió una lámina de riego de 83 cm y la obtención de 294 t.ha^{-1} con una lámina de riego de 78 cm en el sustrato de arena. Es decir, el cultivo en arena ocupó cinco cm menos de lámina y se obtuvo una producción 54% mayor. (Lo obtenido en arena representa una eficiencia de 376.9 kg por hectárea por milímetro de agua aplicada, ó 37.69 kg.m^{-3} , mientras que en el otro suelo fue de 22.89 kg.m^{-3}).

2.4.2.2. Cultivo en sistemas hidropónicos.

En Colombia se obtuvo el siguiente consumo de agua por planta por día, en un cultivo de jitomate bajo sistema hidropónico llevado a 21 - 23 semanas (Anónimo, s.a.). Los datos están expresados en $\text{litros.planta}^{-1}.\text{día}^{-1}$ y corresponden a los promedios de la semana correspondiente:

Cuadro 1. Consumo de agua por planta de jitomate por día, en un sistema hidropónico con una densidad de 5 plantas m^{-2} .

Semana	Consumo	Semana	Consumo	Semana	Consumo	Semana	Consumo
2	0.25	7	1.10	12	1.10	17	0.90
3	0.30	8	0.90	13	1.45	18	1.10
4	0.70	9	1.40	14	0.90	19	0.55
5	0.80	10	1.45	15	0.45	20	1.10
6	0.85	11	0.95	16	0.90	21	1.15

Como se aprecia, a partir de la sexta semana el consumo se estabilizó alrededor de un $\text{litro.planta}^{-1}.\text{día}^{-1}$, presentando altibajos que corresponden

parcialmente a las variaciones climáticas, pero también a las podas efectuadas al cultivo. En particular hay que considerar que en el cultivo referenciado la poda de despunte se hizo entre la semana 11 y 12. Los requisitos hídricos totales del jitomate fueron del orden de 630 mm de agua por cosecha.

En Holanda Uronen, *et al.* (1995) sembraron el jitomate cultivar 'Liberto' en dos variantes de manejo de la solución nutritiva: sistemas abiertos o sistemas cerrados. En ambos se empleo turba o lana de roca. Se usó una instalación no automatizada de riego por goteo en los sistemas abiertos, mientras que en el sistema cerrado con lana de roca, el agua drenada se recirculó y en el sistema cerrado con la turba se usó subirrigación, filtrando la solución.

Como resultado se tuvo que el consumo del agua fue más bajo con el sistema abierto con turba y fue más alto con el sistema cerrado en la lana de roca. Los rendimientos fueron más altos en los sistemas abiertos (31.2 kg.m^{-2} en el que se usó turba y 32.0 kg.m^{-2} en el sistema con lana de roca), que en los sistemas cerrados (26.9 kg.m^{-2} en el que se puso turba y 28.0 kg.m^{-2} en el que se usó lana de roca), posiblemente debido al exceso de agua de riego en los sistemas cerrados.

En otros trabajos basados en sistemas cerrados se usaron otros sistemas o técnicas, como la llamada técnica de la película nutritiva (NFT), y es importante señalar que en ellos se confirmó que la absorción de agua está estrechamente relacionada con la absorción de nutrientes y por ende, con la tasa de crecimiento del cultivo (Pardossi, *et al.*, 1992). Así que realmente esos dos aspectos no deberían de separarse, pero en el análisis aquí presentado de algunos trabajos, se muestra por separado lo que corresponde al uso del agua y posteriormente lo correspondiente al manejo de los nutrientes, aunque las experiencias se condujeron para estudiar ambos aspectos en forma integral.

2.5. Uso de nutrimentos por el jitomate

2.5.1. Cultivo en suelo

Otro aspecto importantísimo en el manejo de las plantas hortícolas lo es el manejo de los nutrimentos, pues como ya se mencionó, hay una interdependencia muy fuerte entre la respuesta a la disponibilidad de agua y la disponibilidad de nutrimentos.

En diversos estudios han encontrado que las raíces de jitomate pueden profundizar hasta tres metros o más en suelos aluviales y que todas las raíces absorben agua, en tanto que los minerales son absorbidos principalmente por las raíces de las capas más superficiales del suelo (Rick, 1978).

En un trabajo experimental se comparó la aplicación de los fertilizantes realizada mediante una aplicación de fondo antes de la plantación, contra su aplicación por la vía del sistema de irrigación (se está usando el término de fertirrigación o fertigación). Se hizo el experimento durante varios años para evaluar también los efectos de un acolchado plástico negro, el uso de riego por goteo y la aplicación de diferentes cantidades de los fertilizantes NPK sobre los rendimientos y la calidad del fruto del cultivar de jitomate 'Mountain Pride' (Mullins, *et al.*, 1992). Resultó que los tratamientos de fertirrigación, a pesar de que incluyeron aplicaciones más altas de fertilizantes, no mejoraron los rendimientos por arriba de los obtenidos con el tratamiento consistente en la aplicación de presiembra, combinada con acolchado y riego por goteo.

En cambio, en otro estudio en el que se probaron dos niveles de nitrógeno y potasio aplicados con un sistema de fertirrigación con riego por goteo, encontraron que una aplicación de agua correspondiente al 80% de la evaporación de un tanque tipo "A", con 1400 kg.ha⁻¹ de sulfato de amonio y 918 kg.ha⁻¹ de cloruro de

potasio, aplicados en el riego a intervalos de 10 días, fue la combinación mas efectiva en la utilización del agua (Oliveira, *et al.*, 1980).

Como se ve, tanto la forma de aplicar el fertilizante como las cantidades empleadas pueden influir en los rendimientos que se obtengan; inclusive se ha probado la colocación en banda contra la colocación a voleo en suelos arenosos, sin encontrar diferencias en cuanto al tamaño del fruto, número de frutos y rendimiento total (Cook y Sanders, 1990). Estos autores observaron también que dentro de la cama, la distribución del nitrógeno nítrico (N-NO_3) varió dependiendo de la tasa de infiltración del suelo; en un suelo con una tasa de infiltración rápida, los niveles de N-NO_3 en el centro de la cama fueron siempre bajos, con concentraciones mas altas observadas en las áreas de la cama mas distantes del tubo de goteo. Mientras que en un suelo con una tasa de infiltración más lenta, las concentraciones de N-NO_3 fueron más uniformes a través de toda la cama, con concentraciones más altas en el centro de la cama.

2.5.2. Cultivo en sistemas hidropónicos

Alam (1992) comparó el cultivo de jitomate en suelo con su cultivo en lana de roca y con el cultivo bajo la técnica de la película nutritiva (NFT). El trasplante se hizo cuando las plántulas tenían cuatro semanas de edad, y en los tres sistemas el crecimiento fue rápido durante las primeras dos semanas después de trasplantadas, pero luego se aminoró.

Cinco semanas después del trasplante, las plantas tenían 18 entrenudos en el sistema en suelo; 23 entrenudos en el sistema en lana de roca y 22 en el NFT; y cinco, seis y seis racimos florales, respectivamente. Ahora bien, en el sistema sin suelo, el consumo diario de N por planta se aumentó lentamente durante este período de cinco semanas. El consumo de P y K mostró poco cambio durante las

primeras cuatro semanas, y después se aumentó rápidamente en la quinta semana. Conforme la estación avanzó, el contenido de N de la hoja disminuyó, el contenido de P de la hoja aumentó y el contenido de K de la hoja quedó casi inalterado. Con el cultivo en suelo, los contenidos foliares de N, P y K disminuyeron durante el crecimiento.

En otro ensayo conducido en un sistema sin suelo (Chung, *et al.*, 1992) se suministró al jitomate diferente proporción por litro de nitrógeno y de potasio a partir de la etapa de la tercera hoja verdadera. Se probaron con 2, 4, 8, 16 ó 32 me de N por litro y 2, 4, 8 ó 16 me de K por litro y se tuvo como resultado que la altura de la planta se incrementó al aumentar la concentración de nutrientes, excepto en las concentraciones más altas donde no fue significativo.

En ese estudio se encontraron también los siguientes aspectos:

- 1) Se afectaron la altura y el área foliar más por las concentraciones de K que por las de N;
- 2) La relación del peso seco de la parte aérea, con respecto a la raíz, se incrementó al incrementarse la concentración de N;
- 3) La respuesta en floración fue mejor con 8 me $N.L^{-1}$;
- 4) El peso fresco de frutos y amarre de frutos por racimo se incrementó al aumentar el N;
- 5) El peso seco de fruto fue influenciado más por el N que por el K.

En cambio con otro cultivar manejado también para probar soluciones que contenían 1, 2, 3, 4, 8 ó 16 me N por litro (Chi y Han, 1994), se encontró que el uso de la solución con 4 me $N.L^{-1}$, hizo posible controlar el crecimiento vegetativo excesivo, sin reducir el rendimiento de frutos.

Al estudiar las deficiencias de fósforo, Adams (1986) encontró que se redujo el número de yemas florales formadas y se retrasó la antésis. En cambio, altos niveles de fósforo incrementaron la proporción de frutos con madurez desigual, e

incrementaron la incidencia de frutos fofos durante la etapa temprana de la estación.

El efecto del contenido de potasio en la solución nutritiva sobre el peso seco y en la producción de flores y frutos en el cultivo de jitomate conducido en arena se puede apreciar en los siguientes datos (Adams, 1986):

Cuadro 2. Peso seco de planta y número de flores y de frutos del primer racimo, en relación al contenido de potasio en una solución nutritiva.

Potasio mg L ⁻¹	Peso seco por planta (g)	Nº flores abiertas primer racimo	Flores que llegan a fruto (%)
5	2.1	2	33
11	7.0	6	65
21	11.0	8	66
79	11.0	9	81
400	6.5	9	100

Los niveles altos de potasio también mejoraron todos aquellos aspectos relacionados con la calidad del fruto, por ejemplo: redujeron la incidencia de frutos fofos; el desorden en la maduración también se redujo; se mejoró la forma del fruto y su firmeza; y se mejoró la acidez total del jugo del fruto.

Según este autor, no hay respuesta en crecimiento y desarrollo de la planta a niveles de concentraciones superiores a 40 mg L⁻¹ de calcio. Un abastecimiento insuficiente de magnesio puede afectar tanto el crecimiento como el rendimiento de fruto y su aplicación al suelo o solución nutritiva reduce la proporción de frutos mal formados, los desórdenes en la maduración y los frutos fofos. Por último, el boro tiene que ver con el número y peso de los frutos por planta, como se aprecia a continuación (Adams, 1986):

Cuadro 3. Peso y número de frutos por planta, en relación al contenido de boro en una solución nutritiva.

Boro mg L ⁻¹	Frutos por planta	Peso de frutos por planta (g)
0.008	20	1786
0.015	28	1991
0.030	36	2674
0.060	50	2704
0.200	58	3589

La forma en que se consumen los nutrientes durante el ciclo vegetativo también fue registrada a partir de experimentos realizados por la empresa COLJAP S.A. (Industria Agroquímica Colombo Japonesa) de Bogotá, Colombia (Anónimo, s.a). Esos datos permiten entender que el consumo de nutrientes se ajusta en general a una curva de tipo sigmoidal, en la cual la región de mayor consumo se encuentra localizada entre la semana 4 y la semana 12.

El potasio fue el que se consumió en mayor cantidad, seguido por el nitrógeno nítrico, luego calcio, magnesio, azufre, fósforo y por último el nitrógeno amoniacal. La mayoría de los elementos presentan en la curva de consumo una disminución mas o menos brusca entre las semanas 11 y 12, que es cuando las plantas suelen decapitarse o podarse del ápice.

Según ese trabajo, en la Sabana de Bogotá, el consumo total de una planta de jitomate cultivada en invernadero durante un período vegetativo de 21 a 23 semanas y con una producción de 6.3 kilos por planta y a una densidad de siembra de 2.4 plantas por metro cuadrado, es el siguiente:

Elemento	Consumo
Nitrógeno	14.0 gramos
Fósforo	1.5 gramos
Potasio	23.8 gramos
Calcio	7.01 gramos
Magnesio	2.86 gramos
Azufre	2.22 gramos
Hierro	85 miligramos
Manganeso	99 miligramos
Cobre	04 miligramos
Zinc	55 miligramos
Boro	30 miligramos
Sodio	274 miligramos

Se debe considerar que en una planta de jitomate de crecimiento indeterminado cultivada en invernadero, la tasa promedio de absorción de muchos nutrimentos varía con las condiciones ambientales, pero según algunos estudios, dicha tasa no es afectada grandemente por las etapas de desarrollo después de la antésis del primer racimo; sin embargo, resulta que la tasa de asimilación de potasio cambia de acuerdo a la carga del fruto en la planta.

Así por ejemplo, los datos que se anotan a continuación muestran que la relación K:N se incrementa de 1.2:1 durante el desarrollo vegetativo, a cerca de 2.5:1 cuando las plantas tienen ya una carga pesada de frutos. El incremento de esa relación K:N se confirmó (según Adams, 1986) con la cantidad de potasio y nitrógeno absorbido o asimilado cada semana por los jitomates creciendo en un sistema de cultivo de película nutritiva (NFT).

Racimos floreando	Asimilación diaria por planta (mg o ml)			
	N	P	K	Agua
1	116	22	144	608
9	114	25	293	926

En lo que se refiere a las cantidades de nutrimentos que utiliza la planta según sus diferentes etapas de desarrollo, se tienen que la tasa de asimilación de nutrimentos de jitomate cultivado en campo parece virtualmente permanecer constante entre los 70 y los 112 días después de la emergencia, en los siguientes niveles: 170 mg N, 23 mg P, 256 mg K, y 126 mg Ca, por planta por día (Adams, 1986).

En cambio en plantas cultivadas en camas de arena con riego por goteo se encontró lo siguiente:

Días después de la siembra	Nutrimentos absorbidos (mg.planta.día ⁻¹)		
	N	P	K
42-64	65	7	103
64-76	90	17	155
76-111	65	5	85
111-180	105	6	85

La cantidad total en 121 días fue de 200 kg de N, 23 kg de P, y 305 kg de K por hectárea (Adams, 1986).

Ahora bien, en un sistema de cultivo en el que se recircula la solución, hay poca respuesta a varios nutrimentos dentro de un rango amplio. Esto se debe a que las raíces son mojadas en una capa superficial por el flujo de la solución nutritiva, en la cual la disponibilidad de los nutrimentos no es limitada. Así que, según algunos resultados, no hay efecto significativo en el rendimiento por el uso de diferentes concentraciones, dentro del rango de 10 - 320 mg de N-NO_3 por litro ó de 5 - 200 mg de P por litro y de 20 - 100 mg de K por litro (Adams, 1986; FAO, 1990).

Pero ¿qué sucede con lo que absorben las plantas?. Se reporta que hay diferencias en la concentración de nutrimentos que se encuentra en las distintas partes de una planta y que la variación es afectada por el tipo de planta, edad fisiológica del tejido de que se trate, la posición del tejido en la planta, y algunos factores climáticos. También afecta la disponibilidad y concentración de nutrimentos en el sustrato. Por ejemplo en el caso del jitomate el uso de nitrógeno en forma N-NH_4 reduce la cantidad de Ca y de Mg que es absorbida por la plantas (Benton, *et al.*, 1991).

En ese trabajo se presentan unas tablas que si bien son para interpretar datos de análisis de contenidos nutrimentales en los tejidos de las plantas con fines de diagnóstico, se consideran útiles para conocer la variación en la cantidad de nutrimentos que se requieren en diferentes estadios de la planta. Así, para el jitomate en espaldera, según sea la edad de la planta en racimos, la cantidad que se considera como "suficiente" y que debe de haber en el tejido analizado, el cual corresponde a los peciolos de las hojas opuestas o abajo del último racimo floral, cuando el racimo de que se trata se encuentra a media floración, es como sigue:

Cuadro 4. Datos de los contenidos de nutrimentos en los peciolo de las hojas abajo del racimo floral, que se emplean con fines de diagnóstico.

Racimos (Porcentajes)						
Elemento	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto
N	3.5-5.0	3.2-4.5	3.0-4.0	2.3-3.5	2.0-3.0	1.80-2.5
P	0.7-1.3	0.5-1.2	0.4-1.0	0.25-1.0	0.2-0.8	0.18-0.6
K	6.0-10	5.0-10	5.0-9.0	4.0-8.0	3.8-7.0	3.50-6.0
Ca	1.4-2.2	1.5-2.4	1.5-2.4	1.5-2.5	1.5-2.5	1.50-2.5
Mg	0.31-0.7	0.32-0.8	0.32-0.8	0.32-0.8	0.33-0.9	0.33-0.9

Racimos (ppm)						
Elemento	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto
B	25-75	25-75	25-75	25-75	25-75	25-75
Cu	5-50	5-50	5-50	5-50	5-50	5-50
Fe	60-300	60-300	60-300	60-300	60-300	60-300
Mn	50-250	50-250	50-250	50-250	50-250	50-250
Zn	20-250	20-250	20-250	20-250	20-250	20-250

FUENTE: Benton, et al., 1991)

A partir de cuando la planta se encuentra en el segundo racimo se aprecia un ligero descenso en lo que se requiere de nitrógeno, fósforo y potasio; mientras que permanecen constantes calcio y magnesio. En el resto de nutrimentos se requiere la misma cantidad en todos los racimos.

En otros trabajos se han utilizado otras partes de la planta para hacer las determinaciones; por ejemplo en uno se tomó para análisis la segunda hoja abajo del primer racimo (Rozek, *et al.*, 1990); en otro se correlacionó el peso fresco de los ápices con la concentración de minerales del peciolo y con el de las láminas, de las hojas justo abajo del primer racimo. (Yi Qing, *et al.*, 1994).

En otro ensayo, realizado por Qing Xi, *et al.* (1994) con plantas de dos cultivares diferentes y que estaban en una edad de desarrollo de 6-9 hojas, se hicieron determinaciones de algunos elementos y del peso seco en varias partes de las plantas (raíces, tallos, peciolo, láminas, retoños); el objetivo era conocer qué ocurría con la absorción de nutrimentos cuando se colocaban las plantas durante cinco días en soluciones nutritivas en las que se retiró el nitrato de potasio o en aquellas en las que este compuesto sustituyó al nitrato de sodio. Por los resultados obtenidos los autores sugieren que los cultivares de jitomate desarrollan mecanismos distintos de absorción y distribución de iones según la solución en que se coloque al cultivar, por lo que adquiere relevancia qué cultivares de jitomate y qué fertilizantes son los que se seleccionan para hacer estudios de nutrición y tolerancia a sales.

2.5.3. Variantes o tratamientos de la solución nutritiva

Se han hecho varios trabajos en que los tratamientos consistieron en diferente tipo de modificaciones o variantes de la solución nutritiva para evaluar su efecto; como ejemplo se tiene uno en el que la temperatura de la solución se mantuvo constantemente a 20 °C y se comparó con la solución a temperatura normal (sin calentamiento), y se encontró que el rendimiento total se elevó cuando se usó la solución nutritiva a 20 °C, y eso se relacionó con un mayor contenido de N-NO₃, P y K en las hojas, en comparación con las hojas de las plantas que crecieron en una solución sin calentamiento (Sady, *et al.*, 1991).

En otro trabajo, a partir de 10 días después de plantar y hasta la cosecha, se hicieron crecer plantas de jitomate cherry en soluciones con diferentes concentraciones: 1) en una solución estándar; 2) en una solución a la mitad de la concentración estándar; y 3) en una al doble de la concentración estándar. La solución denominada estándar consistió de las siguientes cantidades: 16; 1.3; 4; 8; 8; y 4 me.L⁻¹, respectivamente, de N-NO₃, NH₄-N, P, K, Ca y Mg (Ohta, *et al.*, 1994).

En ese caso se midió la frecuencia del rajado del fruto, la cual aumentó conforme la solución estuvo más concentrada. También ocurrió que al aumentar la concentración, el peso del fruto y los potenciales hídricos del fruto y de la hoja decrecieron; en cambio, se incrementó el contenido de sólidos solubles.

En otra experiencia Bando (1991) encontró que cuando se incrementó la concentración de nutrientes en la solución, disminuyeron los rendimientos de la parte superior de la planta y en algunos cultivares disminuyó el rendimiento del fruto y la calidad. Cuando se aumentó la concentración de K y se disminuyó la de Ca con respecto a la solución original, se mejoró el balance de nutrimentos en las etapas tardías. El rendimiento total por planta en 5 cultivares con los que se realizaron los experimentos varió de 5.35 a 7.99 kg por planta, mientras que los rendimientos comerciales variaron de 4.62 a 6.21 kg por planta.

Como parte de los trabajos de la Línea de Investigación en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Torres (1989) realizó un trabajo experimental para evaluar diferentes soluciones con variantes dentro de los rangos que se consideraban como óptimos. Los rangos aceptados fueron:

N	P	K	Ca	Mg	S
200 - 300	60 - 90	200 - 300	300 - 400	50 - 100	200 - 400
Fe	Mn	B	Cu	Zn	Mo
1 - 5	0.5 - 1	0.1 - 1	0.1 - 1	0.1 - 1	1

Por su parte ella encontró que los mejores resultados, obtenidos con la conducción del cultivar Floradade a 7 racimos, fueron las siguientes dos composiciones de la solución nutritiva:

	N	P	K	Ca	Mg
Sol. uno	200	60	200	300	50
Sol. dos	140	80	250	250	100
	Fe	Mn	B	Cu	Zn
Sol. uno	1.0	0.5	0.05	0.05	0.05
Sol. dos	1.0	0.5	0.5	0.05	0.05

Es de interés señalar que en su revisión se cita un trabajo de Oswiecimski (1981) en el que se menciona que se obtuvieron los mejores rendimientos cuando el nivel de la solución nutritiva, consistente en 200 - 300 ppm de N; 50 ppm de P; 200 - 300 ppm de K y 50 ppm de Mg, se redujo en un 40% durante los estados tempranos de crecimiento.

Según Cadahía (1995) la solución ideal para jitomate debiera contener lo siguiente (mg.L⁻¹):

N	P	K	Ca	Mg	S
105	62	273	180	36.5	112
Fe	Mn	B	Cu	Zn	Mo
2	1.0	0.5	0.1	0.1	0.05

Pineda (1996) menciona que estudios realizados con la técnica de la película nutritiva han mostrado que en la mayoría de los casos las respuestas a la concentración de nutrimentos han sido más pequeñas que las esperadas. Bajas concentraciones de N (de 10 - 80 mg.L⁻¹) mantenidos sin que se crearan zonas de agotamiento, tuvieron poco efecto en el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto de jitomate

Por otra parte, se realizó un trabajo en que se compararon soluciones nutritivas hechas con sales de calidad grado analítico contra soluciones hechas con fertilizantes comerciales, pero teniendo ambas las mismas concentraciones de macro y microelementos. Además de diferencias en las concentraciones de algunos elementos en diferentes partes de la planta, se encontró que los pesos secos de las partes aéreas y raíces fueron significativamente más altos con las sales de grado analítico y que el rendimiento se incrementó tres veces, comparado con el tratamiento con fertilizantes comerciales, atribuyéndose esas diferencias a la mayor pureza y solubilidad de las sales de grado analítico (Jakhro, 1995).

Finalmente, se menciona que en general hay que adecuar la solución a la fase vegetativa de las plantas, distinguiéndose para ello una concentración para la etapa de crecimiento, una para la etapa de desarrollo y una para la etapa de producción. En jitomate el criterio que se sugiere seguir (Anónimo, 1990) es el de aplicar para los primeros 15 días una concentración a la cuarta parte de la fórmula base; una concentración a la mitad de la fórmula base para los 30 días que siguen, y la aplicación de la fórmula base para el período restante.

2.6. Conclusiones de la revisión de literatura

En algunas partes a lo largo de la revisión se hacen diferentes comentarios, pero tras el análisis y contraste de la información revisada, los aspectos más relevantes que se pueden mencionar a manera de conclusiones, son los siguientes:

Las necesidades totales de agua que requiere el jitomate durante su ciclo son del orden de 400 a 600 mm, independientemente de que se trate de un sistema de cultivo en suelo o de un sistema hidropónico de tipo convencional de producción, en que se emplean de 2 a 4 plantas por metro cuadrado, lo que significaría un consumo medio diario de 3.3 a 6.6 litros por metro cuadrado, consumo que sin embargo es diferente en cada una de sus etapas fenológicas y puede llegar a ser de hasta $11.25 \text{ L.m}^2.\text{día}^{-1}$ en su período más exigente. Durante ese período se debe tener mucho cuidado si la evapotranspiración llega a ser de 5 a 6 mm por día.

La eficiencia en el uso del agua se puede evaluar en términos de la cantidad de agua usada por unidad de material vegetal producido; y se considera que una buena eficiencia en la utilización del agua en jitomate cultivado en el campo, es obtener una producción de frutos del orden de 10 a 12 kg.m^{-3} de agua.

En cambio, usando la combinación de riego por goteo con un acolchado, se ha alcanzado una eficiencia de 16.3 kg.m^{-3} de agua aplicada; y con riego por goteo en condiciones de invernadero se ha tenido una eficiencia de 22.9 a 37.7 kg.m^{-3} .

Por otra parte, un exceso de agua puede aumentar la caída de la flor, reducir la formación de fruto, ocasionar un crecimiento vegetativo excesivo y un retraso en la maduración. Sin embargo, la duración del estado vegetativo también se puede prolongar a causa de una deficiencia de nutrientes inorgánicos, sobre todo de nitrógeno, fósforo y potasio, pues la deficiencia mineral generalmente retarda el desarrollo floral. Pero como también el exceso de agua se manifiesta por la muerte de las raíces mas pequeñas, una manera de evaluar si hubo excesos en el riego es midiendo la relación parte aérea/raíz.

En el cultivo hidropónico se presenta un patrón de consumo de agua que sigue un comportamiento semejante al consumo de un cultivo en suelo. Con el manejo en estos sistemas se ha confirmado que la absorción de agua está estrechamente relacionada con la absorción de nutrientes y, por ende, con la tasa de crecimiento del cultivo. De manera que el consumo de los nutrientes en el cultivo hidropónico se ajusta en términos generales a una curva sigmoideal y la región de la curva con la tasa de consumo más alta corresponde con la etapa de floración.

En algunos casos ha resultado que en los sistemas abiertos el consumo de agua es más bajo que en los sistemas cerrados, y también los rendimientos obtenidos han sido mayores en los sistemas abiertos. Hay resultados tanto en sistemas cerrados como en sistemas abiertos que indican que los rendimientos de jitomate son poco afectados por el empleo de concentraciones de nutrientes menores a las usualmente recomendadas.

III. HIPÓTESIS

La revisión realizada proporcionó sustento para formular por analogía una hipótesis de trabajo central en la siguiente forma:

En el cultivo de jitomate manejado a un racimo por planta, donde se emplea arena de tezontle como sustrato hidropónico con un sistema abierto (sin recirculación de la solución nutritiva), es posible utilizar soluciones nutritivas con concentraciones menores que la que se considera normal o base, sin afectar el rendimiento por unidad de superficie ni la calidad del fruto.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Para contrastar la hipótesis se realizó una investigación de tipo experimental. La necesidad de tener control sobre el riego proporcionado a cada tratamiento, condujo a establecer una instalación un tanto especial para el experimento, y para ello se tomó como idea base el sistema que Pineda (1996) empleó en su investigación.

4.1. Ubicación del experimento

El experimento se condujo durante 1997 en un invernadero de vidrio ubicado en Cuautlalpan, Municipio de Texcoco en el Estado de México, perteneciente a la empresa Industrial Agropecuaria Junco que se dedica a la producción comercial de jitomate.

4.2. Materiales

Se utilizó el cultivar híbrido 'Solarset', que se caracteriza por ser de hábito determinado, planta compacta de poca altura, relativamente precoz y de frutos redondos y grandes (de 150 a 200 g).

El sustrato empleado fue arena de tezontle rojo (partículas de 1 a 4 mm de diámetro) que en forma comercial utiliza el productor para las tinajas de sus invernaderos, colocado en botes de material plástico de 20 litros, los cuales tienen una altura de 0.35 m, un diámetro de 0.28 m y por lo tanto una superficie unitaria de 0.06 m².

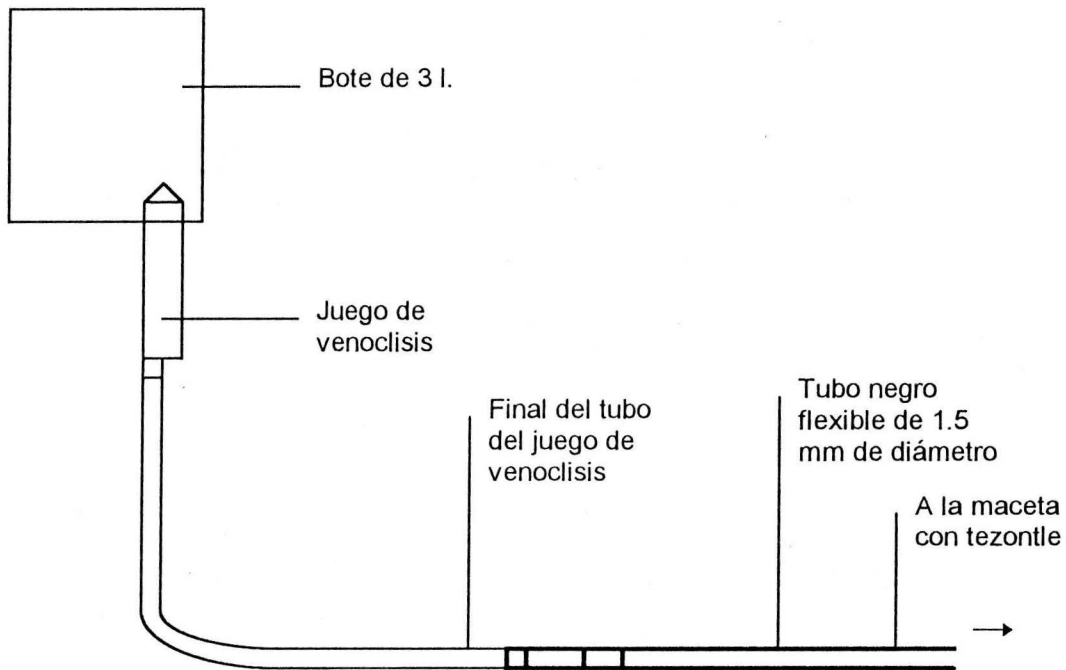
Estos botes empleados como macetas se llenaron para proporcionar una profundidad de 30 cm y tenían perforaciones en el fondo, de modo que cualquier exceso podía drenarse. Además, la superficie del sustrato se cubrió con plástico blanco para simular el acolchado que usa el productor.

Se instaló un sistema de riego por goteo directo para cada maceta, consistente en un bote con capacidad de 3 litros, de material plástico, provisto con tapadera, al cual se le conectó un juego de venoclisis de los empleados para la aplicación de suero; todos estos botes para el riego se colocaron sobre una reja sostenida a una altura de 1.50 m sobre la cama y de ahí se hizo la conexión para hacer llegar el agua a las macetas con tezontle. Cada juego de venoclisis se unió a un tubo de plástico flexible, de color negro, con un diámetro aproximado de 1.5 mm, lo cual permitió purgar con facilidad el sistema cada vez que fue necesario (en la Figura 1 se muestra un esquema con la distribución general y detalles del sistema).

Se instalaron también otros ocho botes de 20 litros en la parte sur del experimento (Figura 1 y Figura 2), llenos con el mismo material de tezontle, en los que se agregó en la parte de abajo un pequeño tubo de cobre para conducir el agua de escurrimiento hacia unos pequeños recipientes donde se recolectaba y medía todos los días.

El propósito inicial de estos botes fue el de medir la evapotranspiración diaria, como un apoyo para conocer la cantidad de agua con que se tenían que regar las macetas del experimento para la prueba de las diferentes soluciones nutritivas. Se colocaron también cuatro botes más con tezontle, sin plantas, completamente saturados con agua para medir evaporación, y se intercalaron con otros cuatro botes sin sustrato conteniendo solamente agua, también con el objetivo de medir evaporación.

DETALLES DEL SISTEMA



PLANTA Y PERFIL

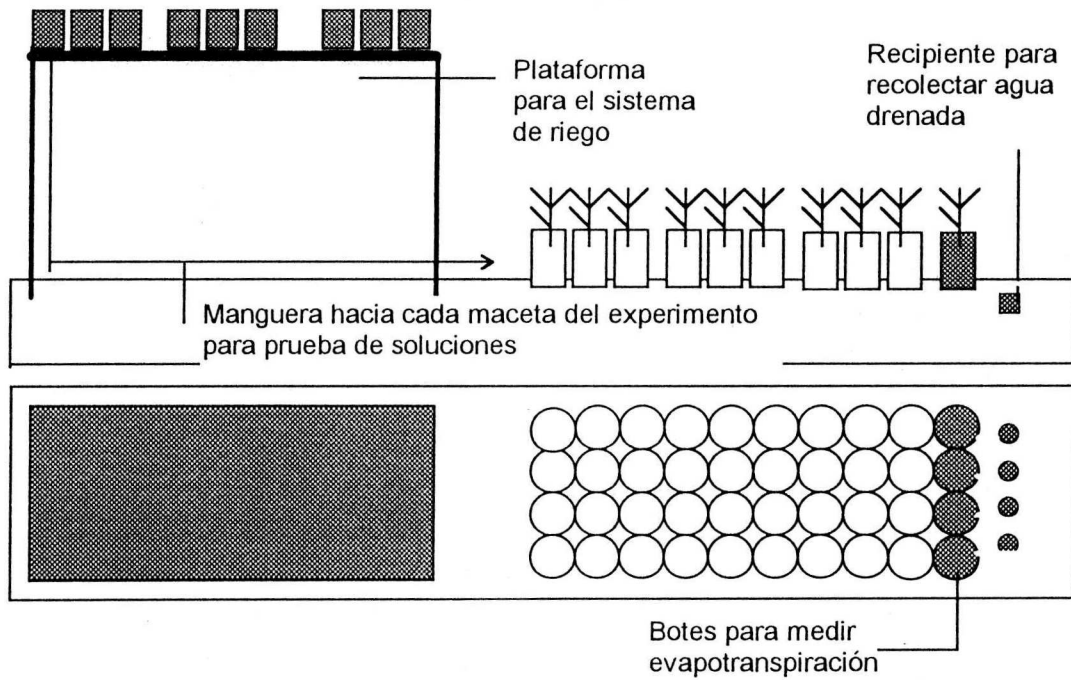


Figura 1. Representación esquemática de detalles y ubicación del sistema de riego.

Se usaron 10 botes de material plástico y con tapadera (polietileno de alta densidad), con capacidad de 200 litros cada uno, para preparar soluciones concentradas de cada nutriente, excepto para cobre y zinc que se pusieron juntos, y de ellos se extraía y se medía la cantidad necesaria para preparar los tratamientos correspondientes en botes y/o garrafones de 20 litros, de donde se tomaba la cantidad que, según las mediciones de agua consumida, se debía aplicar cada día.

4.3. Diseño de tratamientos

4.3.1 Del experimento sobre concentraciones

Los tratamientos básicos fueron:

- 1.- Concentración base (Cb), correspondiente a la solución recomendada para la producción comercial de jitomate.
- 2.- 66% de la Cb.
- 3.- 33% de la Cb.

Con el propósito de ayudar a dilucidar si se podía considerar como responsable de los efectos de la disminución de la concentración base a alguno de los nutrimentos N, P, K en particular, se agregaron los siguientes tratamientos:

- 4.- Cb menos 33% de N. (66% de nitrógeno).
- 5.- Cb menos 66% de N. (33% de nitrógeno).
- 6.- Cb menos 33% de P. (66% de fósforo).
- 7.- Cb menos 66% de P. (33% de fósforo).
- 8.- Cb menos 33% de K. (66% de potasio).
- 9.- Cb menos 66% de K. (33% de potasio).

La concentración base y las correspondientes cantidades para los tratamientos que requerían el 66% y 33% de concentración de esos nutrimentos, se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Concentraciones en mg.L⁻¹ de nutrimentos en la solución nutritiva base y en las que se empleó el 66% y el 33%.

Nutrimento	Concentración		
	base	al 66%	al 33%
Nitrógeno	250.00	166.66	83.333
Fósforo	60.00	40.00	20.000
Potasio	300.00	200.00	100.000
Calcio	300.00	200.00	100.000
Magnesio	50.00	33.33	16.666
Hierro	3.00	2.00	1.000
Cobre	0.05	0.03	0.016
Boro	0.50	0.33	0.166
Manganeso	0.50	0.33	0.166
Zinc	0.05	0.03	0.016

Como fuentes para la preparación de la solución nutritiva base se emplearon los siguientes fertilizantes, mismos que se utilizaron en la producción comercial:

- 1) Nitrato de potasio, que después se cambió por Sulfato de amonio
- 2) Nitrato de calcio
- 3) Fosfato diamónico (18-46-00), que después se cambió por ácido fosfórico
- 4) Sulfato de potasio
- 5) Sulfato de calcio (yeso)
- 6) Sulfato de magnesio
- 7) Sulfato ferroso
- 8) Sulfato de manganeso
- 9) Tetraborato de sodio
- 10) Sulfato cúprico
- 11) Sulfato de zinc

4.3.2. Para evaluar el efecto del acolchado plástico

En un experimento paralelo, pero independiente, los ocho botes empleados para medir el consumo de agua se aprovecharon para probar dos tratamientos: uno al que se le puso acolchado blanco, igual que a las macetas usadas para los tratamientos anteriormente descritos y otro tratamiento en el que las macetas no se acolcharon; lo cual se consideró como un experimento paralelo.

4.3.3. Para evaluar evaporación

Los botes destinados para medir la evaporación también se colocaron considerando como un tratamiento aquellos que fueron llenados con tezontle, y los botes sin sustrato, conteniendo solamente agua, se consideraron como otro tratamiento.

4.4. Diseño experimental

En el experimento para prueba de las soluciones se empleó un diseño de bloques completos al azar. Se colocaron cuatro repeticiones (ver Figura 2). La parcela experimental estuvo constituida por dos botes en los que se colocaron al inicio cinco plantas, de las cuales tres se fueron tomando para determinar su incremento en peso seco y se dejaron desarrollar dos plantas hasta el final para evaluar las variables a la cosecha.

En el experimento paralelo para prueba del consumo de agua en acolchado y no acolchado se empleó también un diseño de bloques completos al azar. Se acomodaron los tratamientos en cuatro repeticiones. La parcela experimental estuvo constituida por un bote y en estas macetas también al inicio se pusieron cinco plantas, para después dejar dos plantas hasta el final para evaluar las variables a la cosecha.

Igualmente los botes conteniendo solo agua y aquellos conteniendo tezontle saturado, se acomodaron en cuatro repeticiones de un diseño completo al azar, y la unidad la constituyó cada bote.

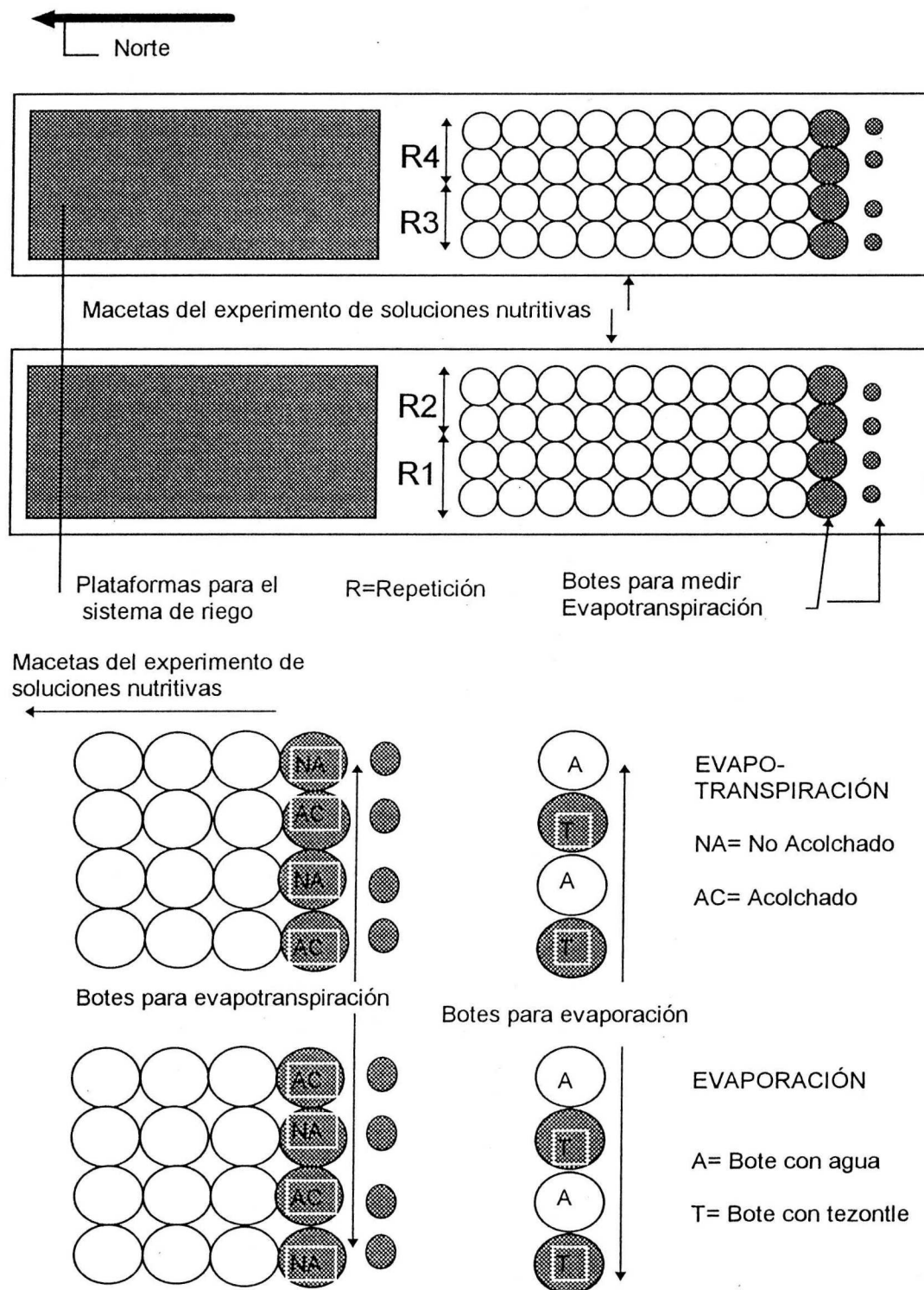


Figura 2. Representación esquemática de la disposición de las macetas en las camas del invernadero.

4.5. Variables consideradas

Además de los datos tomados en la cosecha, se hicieron dos muestreos, uno en la etapa correspondiente al inicio de floración y otro en la etapa de desarrollo rápido de frutos. Se registraron las siguientes variables:

Al final de la primera etapa (61 días después de la siembra -dds-):

- Peso fresco de planta
- Peso seco de planta, determinado después de colocar la muestra por 4 - 5 días en una estufa a 60 °C.
- Número de hojas
- Número de flores abiertas por parcela

Al final de la segunda etapa (89 dds):

- Peso seco de planta

A la cosecha:

- Peso seco de planta
- Peso seco de raíces
- Peso seco de la hoja abajo del racimo
- Número de frutos
- Diámetro de fruto; para lo cual se midió el diámetro ecuatorial con vernier.
- Número de frutos por diámetro. En el manejo de los datos se consideraron como frutos grandes (> 6.0 cm); frutos medianos (de 4.0 a 6.0 cm) y frutos pequeños (< 4.0 cm).
- Peso fresco de fruto

- Días a corte del fruto; se registró el número de dds en que se cosechó cada fruto.
- Color del fruto
- Madurez del fruto; se evaluó cualitativamente.
- Presencia de pudrición en el ápice y de malformaciones
- Peso seco de fruto, determinado después de colocar la muestra por 4 - 5 días en una estufa a 60 °C.
- Rendimiento total por planta
- Rendimiento comercial; para fines de este trabajo se separaron del rendimiento total, aquellos frutos con diámetro menor a 4.0 cm y los que tuvieron alguna malformación, así como los frutos que presentaron pudrición apical.

En el caso de los tratamientos para evaluar el consumo de agua, se registraron cotidianamente las mediciones de:

- Agua requerida para llevar el sustrato a saturación
- Agua drenada
- Agua consumida. El agua consumida cada 24 horas se determinó mediante la diferencia entre el agua agregada para saturar de nuevo la maceta y el agua drenada el día anterior inmediatamente después de saturar la maceta.

En el caso de los botes para cuantificar la evaporación, en los botes con tezontle (sin plantas) se midió el agua necesaria para saturar nuevamente, y en los botes con agua se midió la cantidad que fue necesario agregar para rellenar hasta una marca definida.

4.6. Conducción y Manejo del experimento

Se ensayaron preliminarmente diferentes formas para lograr tener el número de plántulas que se requerían así como el que presentaran un tamaño homogéneo; y tras varios intentos, se optó por colocar las semillas individualmente sobre un cubo de aproximadamente 1 cm^3 , del material conocido como "Oasis^R", dentro de una caja de petri. Se acomodaron 25 en cada caja de petri y se regó la primera vez con agua. En cuanto germinaron se empezó a regar con la solución correspondiente al tratamiento. La semilla mostró un porcentaje promedio de germinación del 92.2%.

La siembra en las cajas de petri se realizó el 25 de julio de 1997 y para el 31 de ese mes se colocaron en su lugar definitivo (seis días después de la siembra). Inicialmente se estuvo regando cada bote con 400 ml.día^{-1} , hasta el día 9 de septiembre (46 días después de la siembra) que se pudo colocar el sistema para medir la evapotranspiración. Mientras que los botes para medir evaporación se pudieron usar a partir del 17 de octubre (85 días después de la siembra - dds -).

La floración se presentó a partir de los 54 dds y a los 61 dds se cortaron dos plantas por maceta, tomando nota de la fase fenológica en función del número de hojas y el estado de la floración, como se muestra en el Cuadro 6. Diez días después se realizó el despunte, eliminando la yema terminal una hoja arriba del primer racimo, y se eliminaron también todos los brotes laterales de ahí en adelante, pues el sistema de manejo consistió en dejar un solo racimo por planta.

Posteriormente, a los 89 dds se hizo un segundo aclareo, extrayendo una planta más, para dejar dos plantas por maceta y ello se tradujo en una densidad de 24 plantas por metro cuadrado, pues el arreglo físico de las dos macetas de cada tratamiento en promedio ocupó una superficie de 0.166 m^2 .

Cuadro 6. Indicadores del desarrollo fenológico a los 54 dds.

Tratamiento	Número medio de hojas por planta	Número medio de flores abiertas por planta
Concentración base (Cb)	10.500	2.625
66% Cb	11.125	3.250
33% Cb	10.000	1.375
66% de Nitrógeno	11.000	1.875
33% de Nitrógeno	09.250	1.375
66% de Fósforo	10.750	3.250
33% de Fósforo	11.125	1.250
66% de Potasio	10.500	2.125
33% de Potasio	10.625	3.250

No se presentaron problemas de plagas ni de enfermedades, sin embargo cada vez que se aplicaron productos en el resto de plantas del invernadero también se asperjó el experimento. Dichas aplicaciones fueron del fungicida Sulfocop-F^R, a razón de 2 ml.L⁻¹. Sus ingredientes activos son el Azufre elemental 50% y el oxiclورو de cobre 7.46%.

Los primeros frutos se cortaron a los 108 dds (11 de noviembre) y los últimos a los 149 dds (el 22 de diciembre); después de lo cual se cortaron las plantas por el cuello para determinar el peso seco de la parte aérea y luego se dejaron durante varios días las macetas para que se secase el tezontle y así poder extraer lo más que se pudiera de las raíces para determinar su peso seco.

4.7. Análisis estadístico de los resultados

Los datos obtenidos se sometieron a la prueba de análisis de varianza y a la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) para la comparación de medias y en algunos casos específicos se hicieron análisis de regresión simple. Para todo ello se utilizó el programa computacional SAS (Statistical Analysis System).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados de la prueba de Análisis de Varianza

En el Cuadro 7 se presentan en forma resumida los resultados de los análisis de varianza (anava) de las variables evaluadas al considerar el total de los frutos cosechados. Dicho análisis arroja que no se presentaron diferencias significativas atribuibles a los efectos de los tratamientos para ninguna de las variables consideradas.

Cuadro 7. Resumen del análisis de varianza de las variables de frutos de jitomate. Se consideran todos los frutos cosechados.

Variable	F. V.	G. L.	C. Medio	F	Pr>F	Sig.
Rendimiento por metro cuadrado	Bloque	3	9.495	1.86	0.1631	
	Tratamiento	8	6.682	1.31	0.2855	ns
	Error	24	5.100			
Nº de frutos por metro cuadrado	Bloque	3	249.333	0.74	0.5406	
	Tratamiento	8	228.250	0.67	0.7092	ns
	Error	24	338.583			
Peso fresco medio de fruto	Bloque	3	273.165	0.73	0.5448	
	Tratamiento	8	328.541	0.88	0.5494	ns
	Error	24	374.737			
Diámetro medio de fruto	Bloque	3	0.058	0.30	0.8250	
	Tratamiento	8	0.125	0.65	0.7318	ns
	Error	24	0.194			
Peso seco medio de fruto	Bloque	3	1.383	0.93	0.4400	
	Tratamiento	8	1.269	0.86	0.5651	ns
	Error	24	1.482			
Porcentaje de materia seca	Bloque	3	0.085	0.59	0.6245	
	Tratamiento	8	0.174	1.21	0.3351	ns
	Error	24	0.144			
Peso seco por metro cuadrado	Bloque	3	0.048	2.72	0.0671	
	Tratamiento	8	0.026	1.51	0.2060	ns
	Error	24	0.017			
Días a cosecha	Bloque	3	0.119	0.01	0.9991	
	Tratamiento	8	17.485	1.10	0.3962	ns
	Error	24	15.871			

ns No hay diferencias significativas entre los efectos de los tratamientos

Los valores del Coeficiente de Variación de esas variables van de 2.9 a 17.65 y para la R cuadrada van de 0.20 a 0.45, según se muestra en el Cuadro 8, en el que se incluyen también los valores de las medias generales.

Cuadro 8. Valores de la media general, Coeficientes de Variación y valores de R cuadrada en el análisis de varianza de las variables de frutos de jitomate. Se incluyen todos los frutos cosechados.

Variable	Media general	C.V. (%)	R cuadrada
Rendimiento (kg.m ⁻²).	16.52	13.66	0.40
Número total de frutos.	124.33	14.79	0.24
Peso fresco medio de fruto (g).	133.98	14.44	0.27
Diámetro medio de fruto (cm).	6.59	6.68	0.20
Peso seco medio de fruto (g).	6.89	17.65	0.28
Porcentaje de materia seca (%).	5.11	7.42	0.32
Peso seco (kg.m ⁻²).	0.85	15.67	0.45
Días a cosecha.	136.92	2.90	0.26

En el Cuadro 9 se presentan los resultados de las pruebas de análisis de varianza para las mismas variables, pero considerando sólo los frutos comerciales, es decir, frutos con un diámetro mayor de 4 cm y sin daños o malformaciones. Tampoco se detectaron diferencias significativas atribuibles a los efectos de los tratamientos en cuanto a las variables consideradas para frutos comerciales, y los valores del Coeficiente de Variación en ese caso se encuentran entre 2.4 y 15.3 y para la R cuadrada van de 0.24 a 0.46, esto es, se encontraron en rangos semejantes a los obtenidos en las pruebas anteriores, según se muestra en el Cuadro 10.

El hecho de no encontrar diferencias significativas es relevante, puesto que se probaron soluciones que implican el empleo de cantidades menores de fertilizantes, lo que puede significar un importante ahorro económico a escala comercial. Sin embargo, debe considerarse que a pesar de que las pruebas de Análisis de Varianza no arrojaron diferencias significativas, resultó que con el tratamiento de la Concentración base se produjeron 3.727 kg.m⁻² más de rendimiento total, que con el que tuvo el 33% de la Cb; y con el tratamiento que correspondió a la solución con el 66% de la Cb se produjo el mayor valor de

rendimiento de fruto comercial por unidad de superficie (se obtuvieron 3.947 kg más que con el tratamiento del 33% de la Cb).

Cuadro 9. Resumen del análisis de varianza de las variables de frutos comerciales de jitomate.

Variable	F. V.	G. L.	C. Medio	F	Pr>F	Sig.
Rendimiento	Bloque	3	10.175	2.06	0.1321	
por metro	Tratamiento	8	6.233	1.26	0.3082	ns
cuadrado	Error	24	4.937			
Nº de frutos	Bloque	3	190.333	1.07	0.3815	
por metro	Tratamiento	8	388.000	2.18	0.0674	ns
cuadrado	Error	24	178.333			
Peso fresco	Bloque	3	419.034	1.38	0.2739	
medio	Tratamiento	8	393.978	1.29	0.2929	ns
de fruto	Error	24	304.460			
Diámetro	Bloque	3	0.11792	0.97	0.4246	
medio	Tratamiento	8	0.126	1.03	0.4388	ns
de fruto	Error	24	0.121			
Peso seco	Bloque	3	1.840	1.50	0.2401	
medio	Tratamiento	8	1.534	1.25	0.3143	ns
de fruto	Error	24	1.227			
Porcentaje	Bloque	3	0.125	0.92	0.4461	
de materia	Tratamiento	8	0.141	1.04	0.4349	ns
seca	Error	24	0.136			
Peso seco	Bloque	3	0.046	3.04	0.0486	
por metro	Tratamiento	8	0.020	1.36	0.2646	ns
cuadrado	Error	24	0.015			
Días a	Bloque	3	1.329	0.11	0.9505	
cosecha	Tratamiento	8	10.815	0.93	0.5068	ns
	Error	24	11.570			

ns No hay diferencias significativas entre los efectos de los tratamientos

Cuadro 10. Valores de Coeficientes de Variación y valores de R cuadrada en el análisis de varianza de las variables de frutos comerciales de jitomate.

Variable	Media general	C. V. (%)	R cuadrada
Rendimiento (kg m ⁻²).	15.626	14.21	0.40
Número total de frutos comerciales.	111.166	12.01	0.46
Peso fresco medio de fruto (g).	141.272	12.35	0.37
Diámetro medio de fruto (cm).	6.798	5.13	0.31
Peso seco medio de fruto (g).	7.248	15.28	0.37
Porcentaje de materia seca (%).	5.069	7.28	0.31
Peso seco (kg m ⁻²).	0.801	15.38	0.45
Días a cosecha	136.633	2.48	0.24

Esa cantidad de fruto comercial corresponde a más de 39 toneladas por hectárea. Y si se considera que el precio del kilogramo se mantuvo todo el año en cerca de \$10.00, eso representaría una diferencia, de \$390,000.00 por hectárea por ciclo, lo cual es de importancia agronómica y económica.

Sin perder de vista que el resultado concluyente que arroja la prueba de análisis de varianza es de que no se presentaron diferencias estadísticas en los efectos de los tratamientos, con la finalidad de ayudar a explicar las diferencias numéricas que se presentaron, también se analizaron los datos mediante la prueba de Duncan (con α al 0.05 y al 0.10) y se decidió intentar una interpretación de los resultados a partir de los agrupamientos que se forman al aplicar la prueba de Duncan con un valor de α de 0.10, a pesar de que está generalizado el criterio de que el nivel de probabilidad para establecer que hay diferencias significativas es de $\alpha = 0.05$. Se consideró que tratamientos con diferente letra en la prueba de Duncan con $\alpha = 0.10$ presentan una fuerte tendencia a diferir estadísticamente.

5.2. Rendimiento en relación a las modificaciones de la solución

5.2.1. Efecto de la disminución general de la concentración base sobre el rendimiento

El rendimiento total mostró una fuerte tendencia a disminuir según la proporción en que se bajó el contenido de la concentración base, tal como se muestra en la Figura 3 y en el Cuadro 11, llegando a haber, como ya se mencionó, una diferencia de rendimiento de 3.727 kg.m^{-2} entre el tratamiento con la concentración base y el tratamiento con el 33% de la Cb. En cambio el rendimiento comercial, obtenido por el tratamiento con 66% de la Cb, fue ligeramente mayor (1.142 kg.m^{-2}) que el que se produjo con la solución base, y su diferencia con el tratamiento del 33% de la Cb fue de 3.947 kg.m^{-2} .

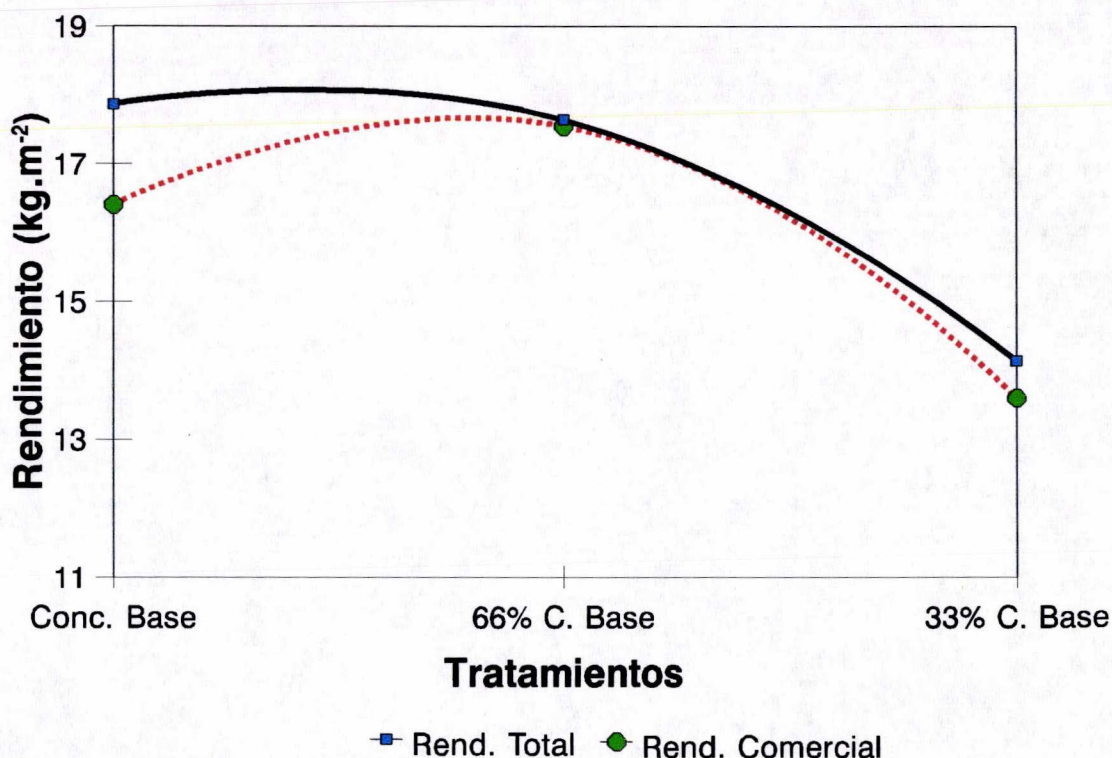


Figura 3. Efecto de la disminución de la concentración base sobre el rendimiento total y el rendimiento comercial.

Cuadro 11. Resultados de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) en las variables rendimientos totales y comerciales por unidad de superficie.

Rendimiento total			Rendimiento comercial		
Tratamiento	Media		Tratamiento	Media	
Concentración base	17.866	a	66% de la Cb	17.549	a
66% de la Cb	17.640	ab	66% de Fósforo	16.517	ab
66% de Potasio	17.552	ab	33% de Nitrógeno	16.490	ab
66% de Fósforo	16.882	abc	Concentración base	16.407	ab
33% de Nitrógeno	16.742	abc	66% de Nitrógeno	15.572	ab
66% de Nitrógeno	16.689	abc	66% de Potasio	15.416	ab
33% de Potasio	16.552	abc	33% de Potasio	14.806	ab
33% de Fósforo	14.689	bc	33% de Fósforo	14.285	b
33% de la Cb	14.139	c	33% de la Cb	13.602	b

Según los resultados obtenidos de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) y que se muestran en el Cuadro 11, el efecto que tuvieron sobre el rendimiento total el tratamiento con la Concentración base y el tratamiento con el 66% de la Cb, si fueron estadísticamente diferentes al efecto causado por el 33% de la Cb; mientras

que en lo que se refiere al rendimiento comercial, no hubo diferencias entre los efectos de la Cb y el 33% de la Cb, pero sí entre los efectos de este último tratamiento y los del tratamiento con 66% de la Cb.

Lo anterior permite expresar que como la prueba coloca en el mismo grupo al tratamiento de la Cb y al tratamiento de 66% de la Cb, resultó suficiente que la solución nutritiva para el riego contuviera el 66% de nutrientes de la solución que se ha considerado como base. Este resultado es muy importante porque eso implica comercialmente una disminución de los costos de operación de aproximadamente \$30,000.00 por hectárea por ciclo.

5.2.2. Efecto de la disminución de la concentración de los nutrientes N, P, K sobre el rendimiento

En la Figura 4 se puede apreciar que las disminuciones de la concentración de fósforo, así como las de potasio, ocasionaron también una tendencia a que se produjeran menores rendimientos totales. Siendo mas drástica esa disminución cuando el nutriente que se disminuyó fue el fósforo, ya que la diferencia entre el rendimiento obtenido con la concentración base y el producido con el 33% de fósforo fue de 3.177 kg m^{-2} , lo cual si es significativo según la prueba de Duncan con $\alpha = 0.10$; la prueba también detecta diferencias entre la concentración con 66% de potasio y el tratamiento con 33% de la Cb, diferencia que numéricamente fue de 3.413 kg m^{-2} (ver Cuadro 11).

En el caso del nitrógeno, se presentó también una disminución del rendimiento total al disminuir su concentración, pero la diferencia con respecto a la concentración base se mantuvo prácticamente en el mismo nivel en los tratamientos con las concentraciones de 66% y 33% (la diferencia fue de 1.177 y 1.124 kg.m^{-2} respectivamente).

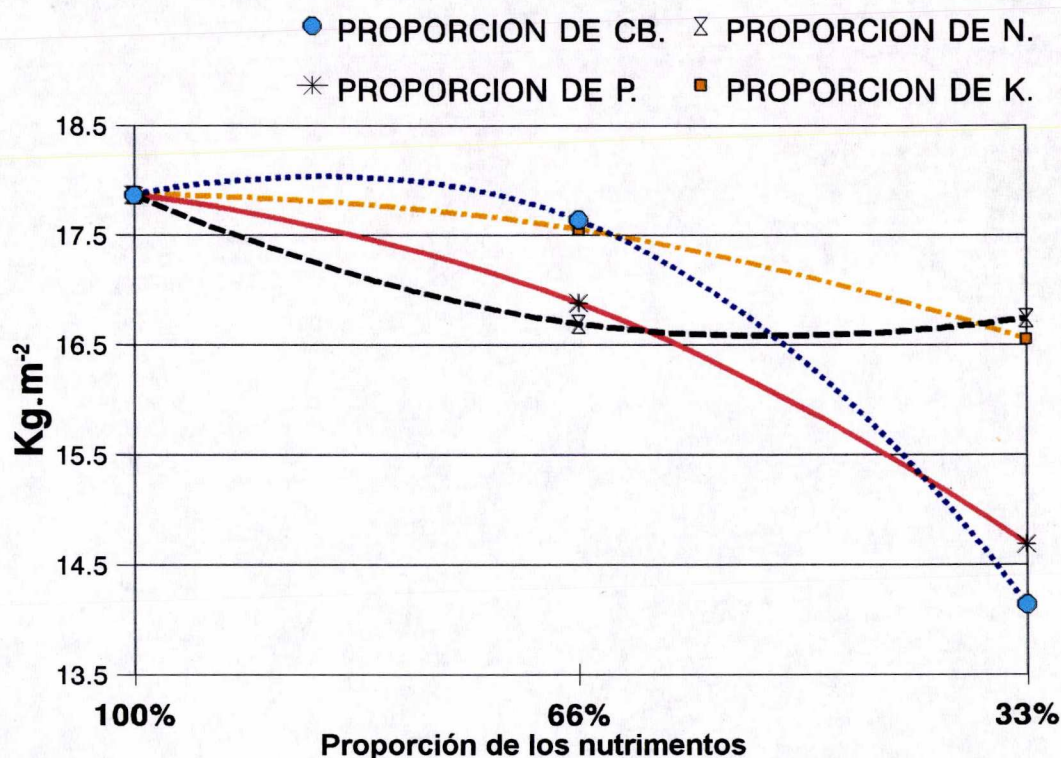


Figura 4. Efecto de la disminución de la concentración de los nutrimentos N, P, K sobre el rendimiento total.

En lo que se refiere al rendimiento comercial, es necesario considerar que para cada tratamiento se retiraron cantidades diferentes de frutos, ya fuera por su diámetro pequeño, o por la presencia de pudrición en el ápice, o por alguna malformación (aspectos que se discuten más adelante), así que los valores de rendimiento total se vieron afectados de manera diferente, como se muestra en la Figura 5. Los tratamientos que más se afectaron por esa causa fueron: el testigo, el que tuvo 66% de nitrógeno, y los que tuvieron 66% y 33% de potasio (todos ellos con cantidades que fueron de 1.12 a 2.14 kg.m⁻²).

La Figura 6 muestra por tanto las tendencias de lo que se presentó con el rendimiento comercial al disminuir las concentraciones de los nutrimentos. La disminución de nitrógeno al 66% causó un rendimiento comercial menor que el que se obtuvo con la concentración base y que el obtenido con el 33% de nitrógeno.

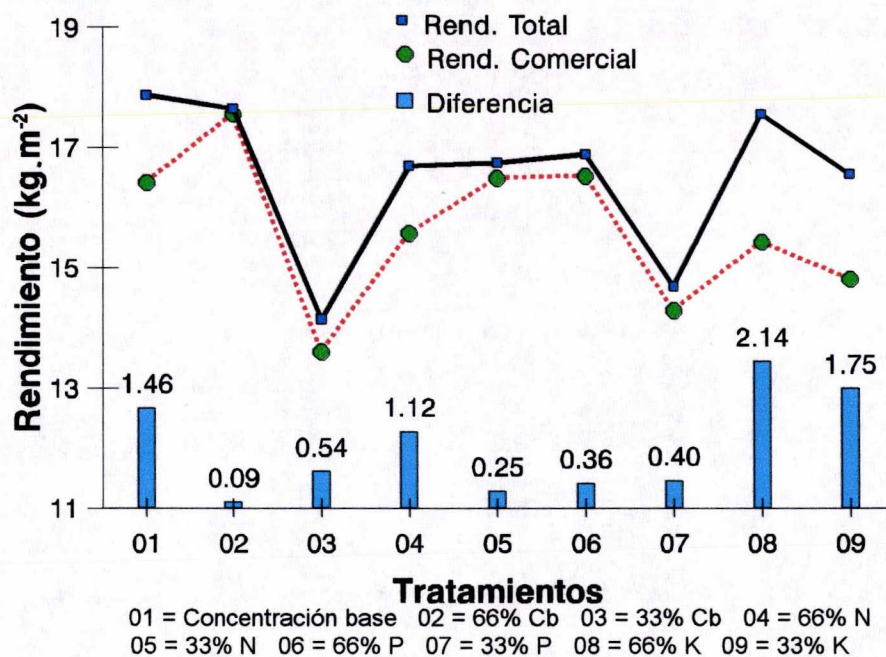


Figura 5. Diferencias entre el rendimiento total y el rendimiento comercial.

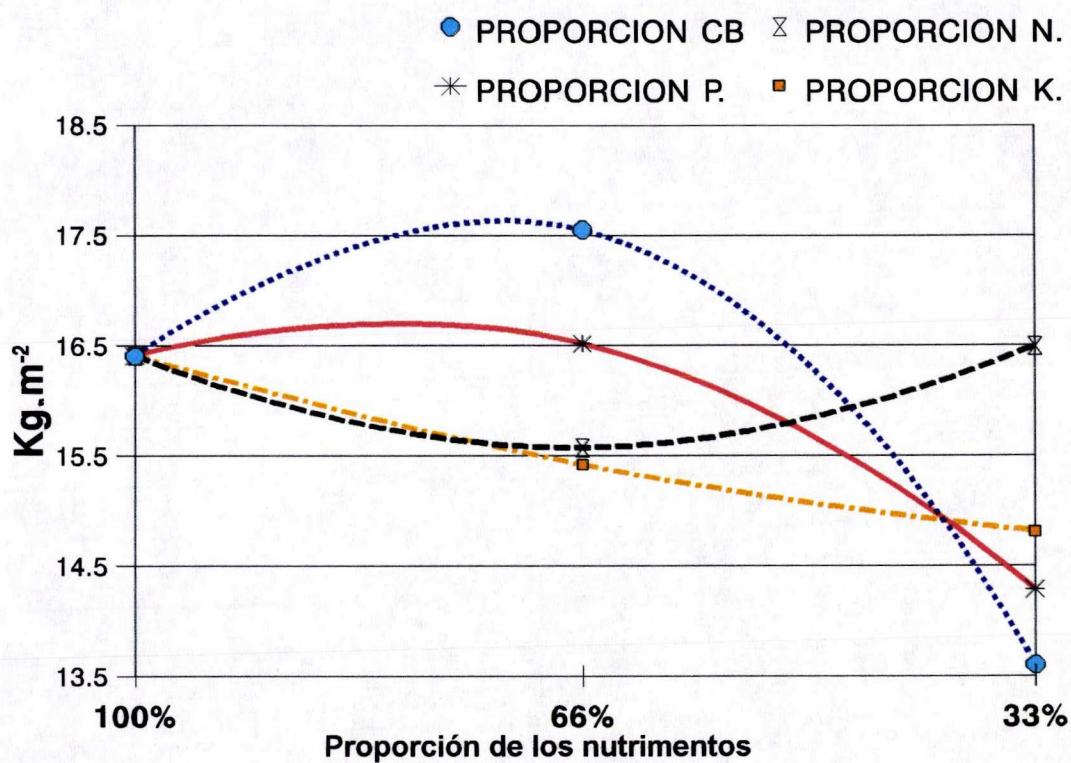


Figura 6. Efecto de la disminución de la concentración de los nutrientes N, P, K sobre el rendimiento comercial.

Estos últimos rindieron 835 y 918 g más, respectivamente, que el tratamiento con 66% de N, desde luego sin que fueran diferentes según la prueba de Duncan (ver Cuadro 11); pero, por otra parte, la prueba si detectó como diferente la magnitud de 3.413 kg.m^{-2} que se presentó entre la concentración con 66% de la Cb y el tratamiento con 33% de fósforo.

La disminución de la concentración de potasio hizo que se presentara una tendencia decreciente del rendimiento comercial, prácticamente en línea recta, entre el tratamiento con la concentración base y el que tuvo el 33% de potasio.

Como en las figuras 4 y 6 se incluyeron también los datos correspondientes a las modificaciones de la concentración base, se puede observar que las líneas que presentan cierta semejanza de comportamiento, son la de las variaciones de la concentración base y la de las variaciones de la concentración del fósforo. Por otra parte, las líneas de las variaciones de la concentración de potasio presentaron mucho paralelismo y, además, fueron los tratamientos con las diferencias más grandes entre el rendimiento total y el rendimiento comercial. Por lo tanto, las tendencias a un menor rendimiento comercial de jitomate, ocasionados por la disminución de la concentración en la solución nutritiva, pueden ser atribuidas principalmente a la disminución de fósforo y potasio.

En este estudio las cantidades en mg.L^{-1} de N, P K de la concentración que dio los mejores rendimientos fueron 167:40:200, mientras que en el estudio que realizó Torres (1989) los mejores resultados fueron con soluciones en que las cantidades variaron de 140 a 200 de N, 60 a 80 de P y 200 a 250 de K; pero en el trabajo de Oswiecinski (1981, citado por Torres, 1989) las cantidades de estos nutrimentos en la solución con la que se obtuvieron los mejores resultados en las etapas tempranas fueron de 120 - 180 de N; 30 de P y 120 - 180 de K. Como se ve, estas últimas cantidades difieren de los 250:60:300 mg.L^{-1} de N:P:K que llevó la

concentración base y se asemejan más a las que se tuvieron en el tratamiento con el 66% de dicha concentración.

5.3. Componentes de rendimiento

5.3.1. Número de frutos y peso fresco medio de frutos

En los cuadros 1 y 3 se incluyeron los análisis de varianza correspondientes a estas dos variables, y como se mencionó, tampoco se detectaron para ellas diferencias significativas mediante dichas pruebas. Las medias generales que se obtuvieron en el experimento cuando se tomaron todos los frutos fueron de 124.3 frutos.m⁻² y un peso fresco medio de 133.9 g; mientras que cuando el análisis se efectuó eliminando los frutos no comerciales, los valores de las medias generales fueron de 111.2 frutos.m⁻² y de 141.3 g para el peso medio de fruto.

Al aplicar la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) para determinar si se detectaban diferencias en los efectos de los tratamientos sobre las variables peso fresco medio de fruto y número de frutos por metro cuadrado, resultó que cuando se incluyeron todos los frutos, no se encontraron diferencias significativas; pero en cambio, sí se captaron diferencias para ambas variables cuando se analizaron los frutos de tipo comercial, lo cual se muestra en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Peso medio y número de frutos, del total de frutos cosechados y de frutos de tipo comercial, por unidad de superficie.

Número de frutos totales m ⁻²		Peso fresco medio de fruto (g)		Número de frutos comerciales m ⁻²		Peso fresco medio de fruto (g)	
Tra	Media	Tra	Media	Tra	Media	Tra	Media
02	138.0 a	01	146.806 a	02	130.5 a	01	156.101 a
06	133.5 a	05	141.641 a	06	120.0 ab	05	148.906 a
08	129.0 a	04	140.338 a	07	117.0 abc	08	147.035 a
07	123.0 a	08	138.714 a	05	111.0 bc	09	146.780 a
01	121.5 a	09	136.623 a	04	109.5 bc	04	141.918 ab
09	121.5 a	02	129.851 a	08	106.5 bc	06	138.449 ab
04	118.5 a	06	129.301 a	01	105.0 bc	02	135.211 ab
05	118.5 a	03	122.583 a	09	100.5 c	03	134.704 ab
03	115.5 a	07	120.007 a	03	100.5 c	07	122.352 b

Notas: Valores de columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

01 = Concentración base (Cb). 02 = 66% de Cb. 03 = 33% de la Cb. 04 = 66% de N.
05 = 33% de N. 06 = 66% de P. 07 = 33% de P. 08 = 66% de K. 09 = 33% de K.

El tratamiento que mayor número total de frutos por unidad de superficie presentó fue el que tuvo el 66% de la concentración base (138 frutos.m⁻²), y aún cuando el que tuvo el 33% de la Cb presentó 115.5 frutos.m⁻², la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) tampoco detectó diferencias estadísticas. En cuanto al peso medio de fruto, el tratamiento con 33% de fósforo fue el más bajo (120 g), mientras que el tratamiento con la concentración base alcanzó un peso medio de fruto de 146.8 g.

Analizando estos dos componentes en su relación con el rendimiento total, se encontró que hubo situaciones en las que se manifestó que el número total de frutos por unidad de superficie fue el componente que más aportó a la expresión del rendimiento (ver Figura 7).

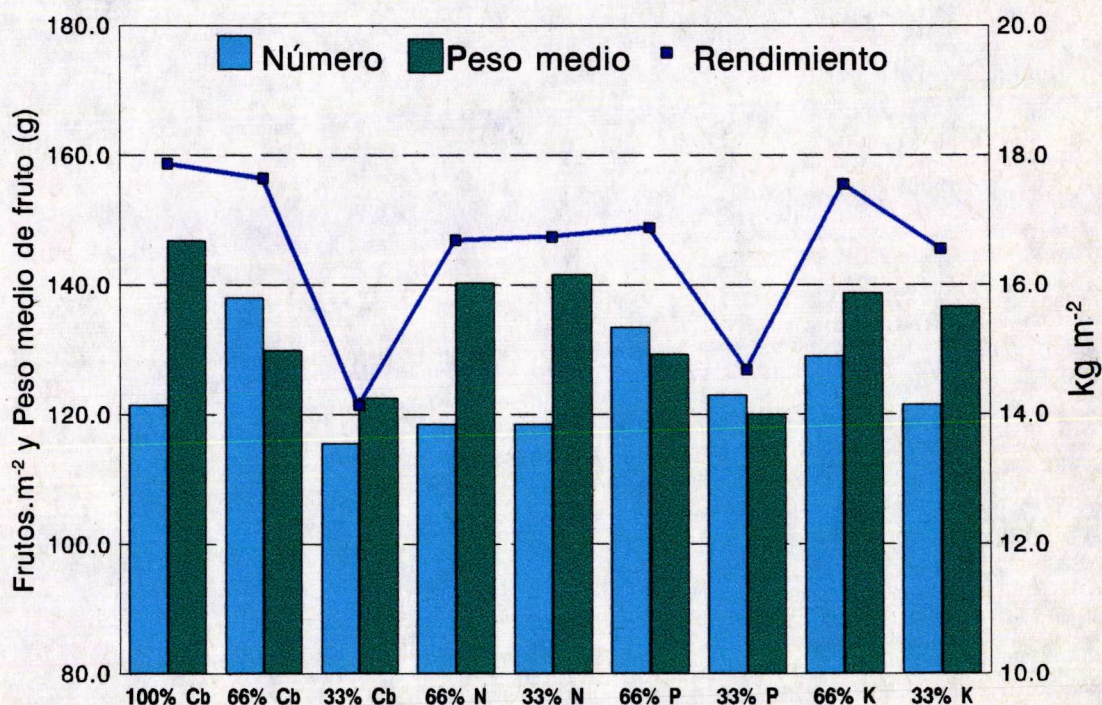


Figura 7. Relación entre el rendimiento total por unidad de superficie y los componentes número y peso medio de frutos.

Las soluciones con 66% de la concentración base y con 66% de fósforo tuvieron prácticamente el mismo peso medio de fruto, sin embargo la diferencia en el rendimiento correspondió a la diferencia en el número de frutos; algo semejante se presentó en el caso de los dos tratamientos en que se modificó la concentración de potasio. En el caso del tratamiento con 33% de la concentración base, el peso medio de fruto fue ligeramente mayor que en el tratamiento con 33% de fósforo, pero en el número de frutos fue a la inversa, y sin embargo el rendimiento expresado por el tratamiento que tuvo 33% de fósforo fue mayor, a causa del mayor número de frutos.

En algunos casos las modificaciones de la solución nutritiva afectaron en gran medida la expresión del peso medio del fruto. Por ejemplo, al disminuir la concentración base al 66%, el peso medio de fruto descendió 17 g, y al disminuir al 33% descendió 24.2 g (7.3 g más), esto es, conforme se bajó la concentración de todos los nutrimentos de la concentración base, el peso medio del fruto también descendió. En el caso de las dos modificaciones de la concentración del nitrógeno el peso medio de fruto solo bajó en promedio 5.8 g, y en el de las modificaciones del potasio descendió 9.1 g en promedio; en cambio al disminuir la concentración del fósforo al 66%, el peso medio de fruto descendió 17.5 g, y al disminuir al 33% descendió 26.8 g. En este último caso resultó también que conforme se bajó la concentración del fósforo, el peso medio del fruto descendió. Pero además la coincidencia en el comportamiento con lo que sucede al modificar la concentración de todos los nutrimentos en la concentración base, sugiere que es la disminución del fósforo la causante del descenso en el peso medio de fruto.

Ahora bien, en el caso de los frutos de tipo comercial, el tratamiento que mayor número de frutos por unidad de superficie presentó fue el correspondiente al 66% de la concentración base (130.5 frutos.m⁻²), siendo diferente (Duncan con $\alpha = 0.10$) al que tuvo el 33% de la Cb y al tratamiento con 33% de potasio (ambos presentaron 100.5 frutos.m⁻²). En cuanto al peso medio de fruto, el tratamiento con

33% de fósforo fue el más bajo (122.4 g) y presentó diferencias con los tratamientos 33% de K, 66% de K, 33% de N y la Concentración base, que alcanzaron un peso medio de fruto entre 146.8 y 156.1 g (ver el Cuadro 12).

Al relacionar estos dos componentes con el rendimiento de frutos comerciales, se encontró que hubo dos situaciones en las que claramente se manifestó que en este caso el número de frutos fue el componente más afectado por la modificación de las concentraciones de los nutrimentos en la solución nutritiva (ver Figura 8).

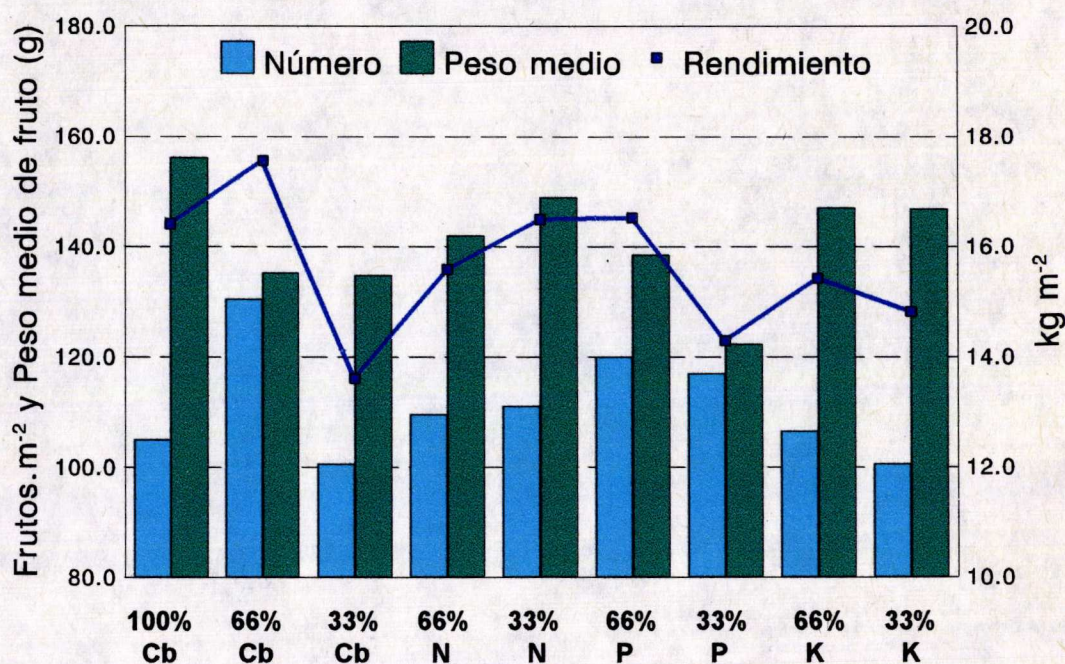


Figura 8. Relación entre el rendimiento comercial por unidad de superficie y los componentes número y peso medio de frutos.

Las soluciones con 66 y 33% de la concentración base tuvieron prácticamente el mismo peso medio de fruto, sin embargo la diferencia en el rendimiento comercial correspondió a la fuerte diferencia en el número de frutos, causada por el cambio de la concentración. Lo mismo se presentó, aunque en forma menos drástica, en el caso de los dos tratamientos en que se modificó la concentración de potasio.

Si se toma como valor de referencia lo que ocurrió en el tratamiento con el 100% de la concentración base, resultó que en general el número de frutos comerciales fue afectado en forma positiva por las modificaciones de la solución nutritiva. En todos los tratamientos el número de frutos fue mayor que en la solución testigo, excepto apenas por 4.5 frutos menos en el tratamiento con 33% de la solución base y en el que tuvo el 33% del potasio.

¿En qué medida se incrementó el número de frutos comerciales?. Cuando se bajó la concentración del potasio al 66% se presentó 1.5 frutos más; cuando se disminuyó la del nitrógeno el incremento promedio fue de 5.25 frutos y cuando se disminuyó la concentración de fósforo al 66% el incremento fue de 15 frutos más. En el caso de la disminución de todos los nutrimentos al 66% el incremento fue de 25.5 frutos más. Desde esa perspectiva, nuevamente se desprende que la disminución del nutrimento que estuvo más relacionada con el incremento de frutos fue el fósforo.

Del análisis de los resultados con los frutos comerciales se desprende también en forma general que las modificaciones de la solución nutritiva afectaron muy poco a la expresión del peso medio del fruto (considérese que en este caso además de no contabilizar los frutos con presencia de algún daño, tampoco se contabilizaron los que tuvieron un diámetro menor a 4.0 cm). Así, al disminuir la concentración base al 66 y al 33%, el peso medio de fruto descendió en forma semejante en ambos casos, bajando en promedio 21 g (13.5%); ello parece ser una manifestación de que al encontrarse todos los nutrimentos en la misma proporción, el peso medio de frutos comerciales, con diámetro de 4.0 cm para arriba es relativamente poco afectado. Por otra parte, las disminuciones en la concentración de nitrógeno y de potasio afectaron aún menos el peso medio del fruto, ya que se alcanzó una disminución máxima de 14 g (9%) en el caso del tratamiento con 66% de N. Únicamente la disminución de la concentración de fósforo al 33% afectó de manera significativa en forma negativa el peso medio del

fruto, a tal grado que en ese caso se puede atribuir a este componente la disminución en el rendimiento.

En resumen, las disminuciones en la concentración del fósforo se pueden asociar tanto al incremento del número de frutos, como a la disminución del peso medio del fruto. Ello obliga a que en trabajos futuros de investigación con este tipo de sistema hidropónico sin recirculación, se revise con más detalle las variaciones de la concentración de este nutrimento.

5.3.2. Distribución del rendimiento por tamaño de fruto

La variable tamaño de fruto calificada según el diámetro que éste alcanzó, se sometió también a las pruebas de análisis de varianza, haciéndose dichas pruebas tanto para el total de frutos (Cuadro 13), como para el caso en que se contabilizaron solamente los frutos comerciales (ver Cuadro 15). En ambos casos no se encontraron diferencias significativas atribuibles a los tratamientos. Los datos correspondientes de los valores de las medias generales, de los Coeficientes de Variación y de los valores de R cuadrada que arrojaron cada uno de esos análisis de varianza se muestran en los cuadros 14 y 16.

Cuadro 13. Resumen del análisis de varianza de las variables relacionadas con el tamaño de fruto según su diámetro. Total de frutos.

Variable	F. V.	G. L.	C. Medio	F	Pr>F	Sig.
Número total de frutos por metro cuadrado	Bloque	3	249.333	0.74	0.5406	
	Tratamiento	8	228.250	0.67	0.7092	ns
	Error	24	338.583			
Porcentaje de frutos grandes (> 6.0 cm)	Bloque	3	9.772	0.06	0.9783	
	Tratamiento	8	131.894	0.87	0.5571	ns
	Error	24	152.203			
Porcentaje de frutos medianos (4.0 a 6.0 cm)	Bloque	3	18.116	0.18	0.9106	
	Tratamiento	8	175.497	1.72	0.1451	ns
	Error	24	102.072			
Porcentaje de frutos chicos (< 4.0 cm)	Bloque	3	21.577	0.82	0.4966	
	Tratamiento	8	26.374	1.61	0.1755	ns
	Error	24	26.374			

ns No hay diferencias significativas entre los efectos de los tratamientos

Cuadro 14. Valores de la media general, Coeficientes de Variación y valores de R cuadrada en el análisis de varianza de las variables relacionadas con el tamaño de fruto según su diámetro. Total de frutos.

Variable	Media general	C.V. (%)	R cuadrada
Número total de frutos	124.33	14.79	0.24
Porcentaje de frutos grandes	73.78	16.72	0.22
Porcentaje de frutos medianos	20.42	49.48	0.37
Porcentaje de frutos chicos	5.80	88.50	0.38

Cuadro 15. Resumen del análisis de varianza de las variables relacionadas con el tamaño de fruto según su diámetro. Frutos comerciales.

Variable	F. V.	G. L.	C. Medio	F	Pr>F	Sig.
Número total de frutos por metro cuadrado	Bloque	3	190.333	1.07	0.3815	ns
	Tratamiento	8	388.000	2.18	0.0674	
	Error	24	178.333			
Porcentaje de frutos grandes (> 6.0 cm)	Bloque	3	20.016	0.16	0.9242	ns
	Tratamiento	8	167.553	1.31	0.2842	
	Error	24	127.625			
Porcentaje de frutos medianos (4.0 a 6.0 cm)	Bloque	3	20.016	0.16	0.9242	ns
	Tratamiento	8	167.553	1.31	0.2842	
	Error	24	127.625			

ns No hay diferencias significativas entre los efectos de los tratamientos

Cuadro 16. Valores de la media general, Coeficientes de Variación y valores de R cuadrada en el análisis de varianza de las variables relacionadas con el tamaño de fruto según su diámetro. Frutos comerciales.

Variable	Media general	C.V. (%)	R cuadrada
Número total de frutos	111.16	12.01	0.46
Porcentaje de frutos grandes	78.26	14.43	0.31
Porcentaje de frutos medianos	21.73	51.96	0.31

En el Cuadro 17 en que se muestran los datos para el total de frutos, se puede ver que el porcentaje de frutos grandes (con diámetro mayor de 6.0 cm), varió de 80.38%, presentado por el tratamiento con el 33% de potasio, hasta un valor de 65.56% de frutos grandes en el caso del tratamiento con el 66% de la Cb. A pesar de esa variación, tampoco la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) captó diferencias entre

ellos. Pero para los datos de porcentaje de frutos medianos (diámetro de 4.0 a 6.0 cm) y de frutos chicos (diámetro menor de 4.0 cm), la prueba de Duncan hizo tres agrupamientos, que permiten señalar que hubo tendencias a presentarse diferencias en el porcentaje de frutos entre los tratamientos. También se puede ver que el rendimiento causado por la concentración base estuvo asociado principalmente a la presencia de frutos de tamaño grande; en el rendimiento del tratamiento con el 66% de la Cb se tubo el menor porcentaje de frutos grandes; y que el rendimiento del tratamiento con 33% de la Cb estuvo formado, en comparación con los otros tratamientos, proporcionalmente por el mayor porcentaje de frutos chicos.

Cuadro 17. Resultados de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) en variables de porcentaje de fruto según su diámetro. Total de frutos.

Tratamientos	Numero de frutos m ⁻²	% de frutos grandes (> 6.0 cm)	% de frutos medianos (4.0 a 6.0 cm)	% de frutos chicos (< 4.0 cm)
Concentración base	121.50 a	80.179 a	13.690 c	6.131 abc
66% de la Cb	138.00 a	65.564 a	30.103 ab	4.333 abc
33% de la Cb	115.50 a	71.845 a	16.830 bc	11.324 a
66% de N	118.50 a	79.527 a	18.092 abc	2.381 bc
33% de N	118.50 a	74.916 a	20.196 abc	4.887 abc
66% de P	133.50 a	68.220 a	23.751 abc	8.029 abc
33% de P	123.00 a	67.569 a	31.389 a	1.042 c
66% de K	129.00 a	75.823 a	15.045 c	9.132 ab
33% de K	121.50 a	80.384 a	14.650 c	4.966 abc

Nota: Valores de columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

Como para generar el valor del rendimiento comercial se descontaron todos los frutos pequeños, eso explica de algún modo porqué se obtuvo un menor valor para dicha variable con este tratamiento. Y la presencia de un mayor porcentaje de frutos chicos pudo haber sido ocasionada por un retraso general en el desarrollo de la planta debido a la disminución de todos los nutrimentos, pues se afirma que

la deficiencia mineral generalmente retarda no solo el desarrollo floral sino que provoca un retardo en el crecimiento y desarrollo general de la planta total (Takahashi, Eguchi y Yoneda, 1973, citados por Atherton y Harris, 1986).

Por otra parte, en el Cuadro 18 se muestran los datos de cuando se hizo la prueba para el dato de frutos comerciales, por lo que solamente se tienen distribuidos los frutos en dos categorías; en ese caso se puede ver que el porcentaje de frutos grandes varió de 85.54%, valor alcanzado por el tratamiento con la concentración base, hasta un valor de 68.37% de frutos grandes en el caso del tratamiento con el 66% de la Cb. La prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) captó diferencias significativas entre ellos. Como los datos de porcentaje de frutos medianos (diámetro de 4.0 a 6.0 cm) son el complemento para el total, en ese caso la prueba hizo los mismos dos agrupamientos.

Cuadro 18. Resultados de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) en variables de porcentaje de fruto según su diámetro. Frutos comerciales.

Tratamientos	Numero de frutos m ⁻²	% de frutos grandes (> 6.0 cm)	% de frutos medianos (4.0 a 6.0 cm)
Concentración base	105.0 bc	85.539 a	14.460 b
66% de la Cb	130.5 a	68.368 b	31.631 a
33% de la Cb	100.5 c	80.664 ab	19.335 ab
66% de N	109.5 bc	82.203 ab	17.796 b
33% de N	111.0 bc	78.528 ab	21.471 ab
66% de P	120.0 ab	73.217 ab	26.782 ab
33% de P	117.0 abc	69.267 b	30.732 a
66% de K	106.5 bc	81.532 ab	18.467 ab
33% de K	100.5 c	85.032 a	14.967 b

Notas: Valores de columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

Estos resultados sirven para llamar la atención sobre dos aspectos: uno es que el rendimiento comercial del tratamiento con el 66% de la Cb tendió a formarse con un mayor porcentaje de frutos medianos que el rendimiento del tratamiento con el 100% de la concentración base (31.63% contra 14.46%), lo cual se percibía también cuando se revisaron los datos del peso medio de fruto de estos

tratamientos. El otro aspecto que se quiere resaltar es que en el tratamiento en que la concentración de potasio fue la más baja (del 33%), el rendimiento comercial estuvo constituido fundamentalmente por frutos grandes (85%), de manera muy semejante a lo que presentó el tratamiento con la concentración base.

5.3.3. Peso seco de fruto, porcentaje de materia seca y relación con el agua contenida en frutos de tipo comercial

El peso seco también es un indicador del tamaño del fruto, a pesar de que estuvo menos relacionado con el diámetro que el peso fresco medio del fruto, ya que su coeficiente de correlación sólo fue un poco menor (0.97 contra 0.90). Con ese dato se calculó el porcentaje de materia seca y en el Cuadro 19 se presenta lo que se obtuvo de la aplicación de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) para las dos variables.

Cuadro 19. Resultados de la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$) en las variables peso seco y porcentaje de materia seca de frutos de jitomate. Frutos comerciales.

Peso seco medio de fruto (g)		Porcentaje de Materia seca (%)	
Tra	Medias	Tra	Medias
09	7.990 a	09	5.41 a
01	7.824 a	08	5.30 ab
08	7.817 a	06	5.13 ab
05	7.534 ab	02	5.12 ab
06	7.204 ab	05	5.02 ab
04	7.074 ab	07	4.94 ab
02	7.053 ab	03	4.91 ab
03	6.659 ab	04	4.90 ab
07	6.081 b	01	4.89 b

Notas: Valores de columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

01 = Concentración base (Cb). 02 = 66% de Cb. 03 = 33% de la Cb. 04 = 66% de N. 05 = 33% de N. 06 = 66% de P. 07 = 33% de P. 08 = 66% de K. 09 = 33% de K.

En dicho cuadro se muestra que los datos del peso seco del tratamiento con la concentración base y de los tratamientos en que se disminuyó esa concentración al 66 y al 33%, se encontraron en el mismo grupo; y que solamente el tratamiento

con 33% de fósforo, que tuvo el valor más bajo de peso seco (6.081 g), resultó ser diferente, tanto de los dos tratamientos en que se varió la concentración del potasio, como con el de la concentración base. En la Figura 9 se muestran las respuestas de los tratamientos, agrupándolas éstas según las diferentes proporciones de la concentración base y las diferentes proporciones de las concentraciones de los otros tres nutrimentos.

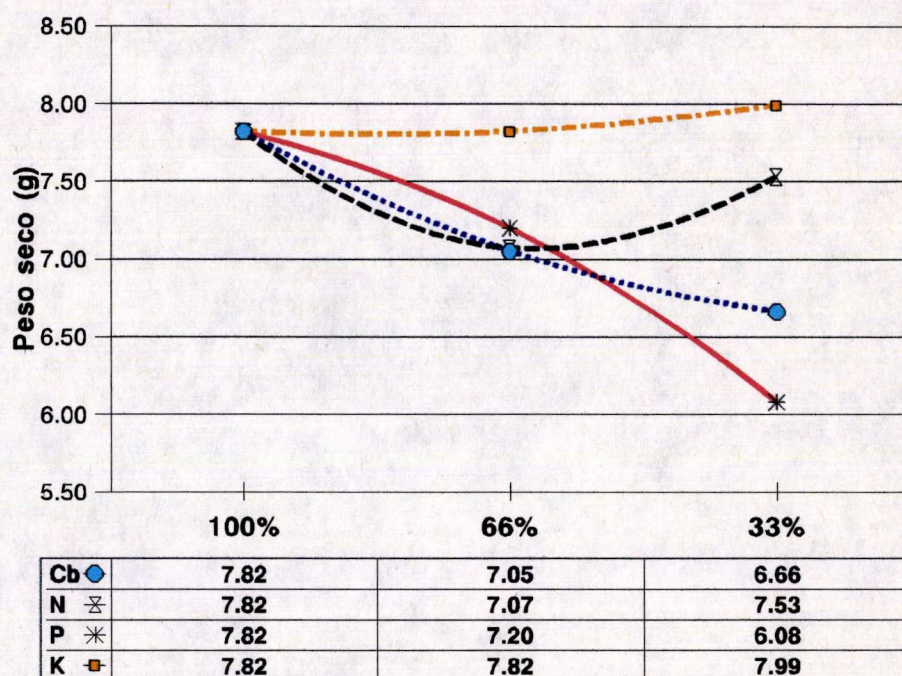


Figura 9. Peso seco medio de fruto en las diferentes concentraciones de la solución nutritiva.

Se muestra que en los tratamientos en que se disminuyó el potasio, no se modificó el peso seco del fruto; en cambio cuando el fósforo se aplicó en la concentración del 33%, el peso seco del fruto bajó aún más incluso que con la aplicación del 33% de la concentración base (24%). Se resalta esto porque en el caso del tratamiento con el 33% del fósforo los otros nutrimentos se encontraban al 100% de la concentración base, mientras que en el otro tratamiento todos los nutrimentos se encontraban al 33% de la base, lo cual pudiera indicar que al estar

presentes en la solución otros nutrimentos en una proporción mayor que la que guardan con el fósforo en la concentración base, ocurre una disminución de la asimilación y/o transformación de nutrimentos a materia seca. Con respecto a esto Pineda (1996) en su trabajo citando a Marschner (1986) señala que la absorción de cationes y aniones es regulada de manera diferente, y que bajo concentraciones externas altas, algunos iones que tienen bajas velocidades de absorción disminuyen la velocidad de absorción de otros, por ejemplo el SO_4^{2-} afecta la del K^+ y el Ca^{2+} afecta la del Cl^- . El exceso de nitrógeno tiende a inhibir la absorción de fósforo, así que posiblemente al haber mayor cantidad de NO_3^- y de SO_4^{2-} se disminuyó proporcionalmente la acumulación de fosfatos. También menciona Pineda que si la concentración de un nutrimento en la solución es alta, el incremento en el influjo de agua por la planta tendrá poco efecto en la absorción de tal nutrimento; y si es baja la concentración (cosa común en los fosfatos), tampoco el incremento del influjo de agua tiene efecto sobre su absorción.

Un mayor peso seco no necesariamente implica un porcentaje más alto de materia seca; de hecho los datos del Cuadro 19 permiten ver cómo los dos tratamientos que presentaron los valores más altos de peso seco (33% de potasio y Concentración base), adquirieron valores diferentes de porcentaje de materia seca, al grado que precisamente entre ellos se detectaron diferencias estadísticas con la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$).

Los frutos producto del tratamiento con el 33% de la concentración de potasio y los frutos del tratamiento con la concentración base, que presentaron prácticamente el mismo peso seco, tuvieron en cambio diferente proporción de agua en sus tejidos (95.11% contra 94.59%), diferencia que es atribuible según la prueba de Duncan a la diferente solución con que se nutrieron las plantas. Ahora bien, la cantidad de agua contenida por el fruto se puede expresar también como una relación de la cantidad de agua en gramos por cada gramo de materia seca. El resultado de esa razón, aplicado a los datos provenientes del Cuadro 19, arrojaron

que la cantidad de gramos de agua contenida en el fruto, por cada gramo de materia seca producida, fue menor en los frutos provenientes del tratamiento con una concentración del 33% de potasio (ver Figura 10).

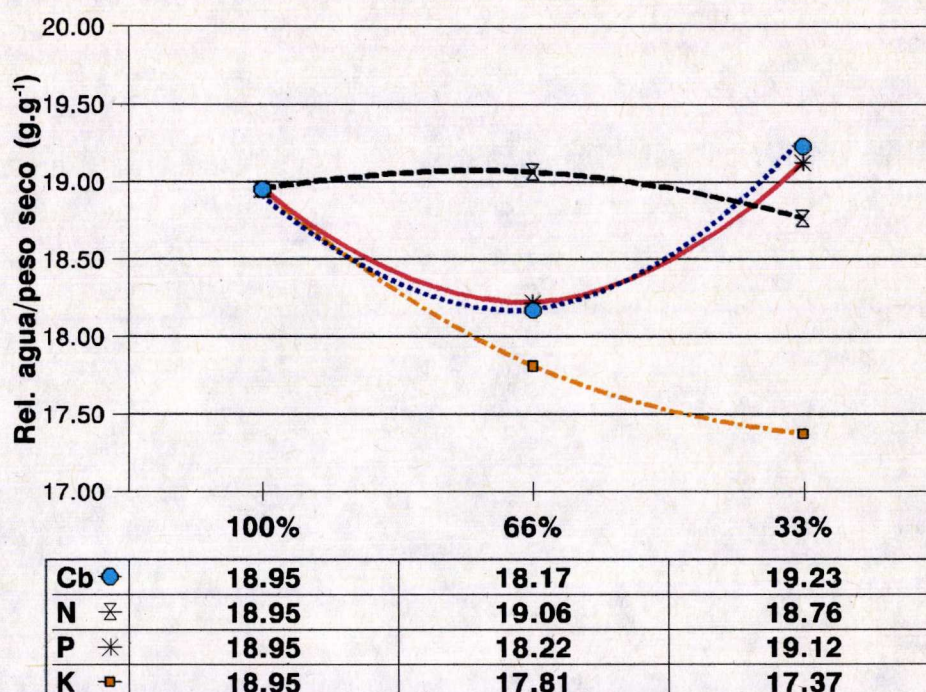


Figura 10. Agua contenida en los frutos de tipo comercial, expresada mediante la relación: cantidad de agua en gramos por cada gramo de materia seca.

Esos resultados parecen indicar que la disminución de la concentración de potasio en la solución no afecta el peso seco del fruto, pero que conforme la concentración es menor, los tejidos del fruto almacenan menor cantidad de agua. Al respecto, Cánovas (1995) menciona que los frutos huecos es una de las fisiopatías que se presenta en jitomate cuando su cultivo se lleva a cabo en épocas en que las condiciones hacen que se tengan bajas temperaturas en el sustrato y que una manera de evitar o minimizar dicho problema es empleando niveles altos de potasio. Eso quiere decir que si se presentan problemas para su absorción, o

que si el potasio no está disponible en cantidad suficiente, se pueden producir frutos huecos o fofos como ocurrió en este caso.

Se debe señalar que el follaje de las plantas del tratamiento correspondiente al 33% de potasio manifestó una marchitez muy marcada durante los días más calurosos, teniendo necesidad en algunos días de agregar más solución nutritiva a esas macetas, con lo cual se notó que las hojas de las plantas pasaban a un estado de turgencia en forma muy rápida, en cuanto se adicionaba el agua de riego.

Posiblemente eso indique que hubo una absorción menor de potasio por las plantas de ese tratamiento y, por lo tanto el equilibrio de su economía del agua se afectó, pues en general en las plantas este equilibrio, según León (1984), es mantenido por el potasio mediante el balance efectuado entre la respiración, transpiración y anabolismo, reduciendo con ello su tendencia a la marchitez, ya que el potasio tiene que ver con el ajuste del movimiento estomatal, lo que facilita la absorción de agua, tan importante para el mantenimiento de la turgencia de los tallos y hojas.

Al respecto se puede mencionar que Lindhaver (1983) aunque trabajó con plantas de trigo (*Triticum eativum* L.) y de chícharo (*Pisum sativum* L.), señala que aquellas plantas que tuvieron altos contenidos de potasio mostraron tasas más bajas de transpiración. Menciona que Fischer (1968) y Hsiao (1976) encontraron que los estomas de haba (*Vicia faba*) se abrían rápidamente cuando en la solución circulaba K^+ y que una reducida apertura estomatal estuvo asociada a deficiencias de K^+ . Concluye que el potasio está decisivamente involucrado en el mecanismo de la regulación estomatal y que una regulación óptima, particularmente en situaciones en que el abastecimiento del agua es deficiente, ayuda a las plantas a usar el agua eficientemente en la producción de materia seca. Si la planta está

adecuadamente abastecida de potasio puede resistir un estrés de agua, porque inmediatamente cierra sus estomas y reduce así la transpiración.

Una explicación del bajo abastecimiento es que debido a la menor presencia de potasio en la solución nutritiva, se generaba rápidamente una zona de agotamiento alrededor de la superficie de la raíz (Barber, 1984, citado por Pineda, 1996), habiendo por tanto una menor absorción del mismo y ello se traducía por consecuencia en el efecto del marchitamiento, y se explicaría el cambio tan rápido a un estado de turgencia en cuanto se regaba, por estar nuevamente abastecida con potasio la zona de la raíz. Sin embargo, si así fuera el fenómeno, en el tratamiento con el 33% de la concentración base se debió haber presentado la misma sintomatología de marchitamiento, pero no ocurrió así, y además la relación gramos de agua por gramos de materia seca contenida en los frutos de este último tratamiento tuvo un valor de 19.23 (el más alto), comparado con un valor de 17.37 en los frutos del tratamiento con 33% de la concentración de potasio (ver Figura 10).

Así que la posible disminución en la absorción de potasio por las plantas, pudo ser causada por algún antagonismo con otro nutrimento que se encontró en una proporción mayor, como ya se mencionó en el caso del fósforo, dado que en este tratamiento sólo se bajó la concentración de potasio. Anteriormente ya se señaló que la velocidad de absorción del SO_4^{2-} afecta la del K^+ (Pineda, 1996).

Por otra parte, Adams (1986) encontró que en los niveles altos de fósforo se incrementó la incidencia de frutos fofos, sin embargo en este trabajo se encontró que en el tratamiento con el 66% de fósforo se tuvo un valor relativamente bajo de la relación gramos de agua por gramos de peso seco (18.22), y que fue más alto (sin ser significativo) tanto en la concentración base como en el nivel más bajo de fósforo. En la Figura 10 se puede notar también el paralelismo que hay en las curvas de los diferentes niveles de la concentración base y de los correspondientes niveles del fósforo, conduciendo a fortalecer la idea de que se

obtiene el mismo efecto cuando se disminuye sólo el fósforo en la solución, que cuando se disminuyen todos los elementos en la misma proporción. Es decir, el primer nutriente en hacerse limitante al ir diluyendo la solución nutritiva es el fósforo. Probablemente entonces se puedan manejar comercialmente soluciones más diluidas que el 66% de la Cb si se mantiene al menos una concentración de 40 mg.L⁻¹ de fósforo.

5.4. Días a cosecha

Tampoco hubo diferencias significativas en cuanto a los valores promedio de esta variable en el análisis de varianza realizado, pero cuando se analizó con base en la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$), el tratamiento con 66% de nitrógeno y el tratamiento con 33% de potasio, resultaron ser diferentes estadísticamente (6.5 días más precoces en promedio), con respecto al tratamiento que tuvo el 33% de la concentración base (ver Cuadro 20).

Cuadro 20. Valores máximos, mínimos y medios de días a cosecha de los frutos de jitomate dentro de cada tratamiento.

Tratamiento	Días a cosecha (dds)			
	Medias	Max	Min	ProMin
66% de N	134.005 a	149	108	120.50
33% de K	134.730 a	149	108	118.50
33% de P	136.024 ab	149	116	118.50
Concentración base	136.738 ab	149	108	124.25
66% de P	136.815 ab	149	116	121.00
66% de la Cb	136.852 ab	149	108	120.50
33% de N	137.096 ab	149	116	120.50
66% de K	139.195 ab	149	116	123.00
33% de la Cb	140.872 b	149	124	126.75

Nota: Valores de columna con la misma letra son estadísticamente iguales.
ProMin= Promedio de valores mínimos.

Además del resultado que surge de los valores medios, es de interés considerar el número de días en que se inició la cosecha dentro de cada tratamiento, pues como se muestra en el Cuadro 20, en general en esos

tratamientos la cosecha se inició a los 108 días después de la siembra (dds), mientras que en el tratamiento con el 33% de la Cb se inició a los 124 dds (Si se consideran los valores medios mínimos, hubo una diferencia de 6.25 a 8.25 días).

También el porcentaje de frutos cosechados hasta determinadas fechas (Cuadro 21), sirve como un indicador del comportamiento, en cuanto a precocidad, de las plantas sometidas a cada tratamiento. Se encontró por ejemplo, que en el tratamiento con 66% de nitrógeno y el tratamiento con 33% de potasio, se había cosechado prácticamente la mitad de su producción total cuando el ciclo llegó a 131 dds (51.9 y 49.4%, respectivamente); mientras que en el tratamiento con 33% de la Cb, apenas se había cosechado el 22.07% de su producción total. Los otros tratamientos estuvieron por abajo del 42% para esa fecha.

Cuadro 21. Porcentajes de frutos cosechados en cada fecha de corte del jitomate.

	Niveles de concentración de los nutrimentos								
dds	100% Cb	66% Cb	33% Cb	66% N	33% N	66% P	33% P	66% K	33% K
108	1.23	1.09	0.00	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	4.94
116	1.23	3.26	0.00	6.33	5.06	5.62	4.88	1.16	8.64
124	6.17	6.52	1.30	10.13	5.06	12.36	9.76	3.49	8.64
126	7.41	13.04	5.19	10.13	10.13	6.74	20.73	10.47	13.58
131	23.46	16.30	15.58	21.52	18.99	16.85	10.98	15.12	13.58
acu	39.51	40.21	22.07	51.91	39.24	41.57	46.34	30.23	49.38
138	25.93	18.48	24.68	15.19	25.32	22.47	14.63	25.58	14.81
144	19.75	14.13	19.48	8.86	7.59	7.87	8.54	8.14	6.17
149	14.81	27.17	33.77	24.05	27.85	28.09	30.49	36.05	29.63

Notas: dds = Días después de la siembra; acu = Porcentaje acumulado a los 131 dds.

El aparente retardo causado por el tratamiento con 33% de la Cb, se puede interpretar como resultado de un retraso general del desarrollo de las plantas, a causa de que en dicho tratamiento el abastecimiento de nitrógeno fósforo y potasio fue más bajo, y ello pudo haber provocado que la duración del estado vegetativo se prolongara, como ha ocurrido en otros trabajos en que, debido a un bajo abastecimiento del nitrógeno, del fósforo y del potasio, se señala que ocurre un retardo en la floración como reflejo de un retardo en el crecimiento y desarrollo de la planta en general, más que como un efecto específico de las deficiencias de

nutrimentos sobre el período de la floración (Takahashi, Eguchi y Yoneda, 1973, citados por Atherton y Harris, 1986).

5.5. Uso del agua

Los datos que se tomaron a partir de que se instaló el sistema para medir la evapotranspiración (46 dds), fueron analizados mediante la prueba de análisis de varianza, con la cual se encontró que hubo diferencias significativas atribuibles a los efectos de los tratamientos con acolchado plástico y no acolchado, aunque únicamente para la etapa que abarcó del día 46 al día 60 (dds), período aún correspondiente a la primera etapa, y para el análisis realizado con el dato del total de agua consumida durante el ciclo (ver Cuadro 22). Los valores de las medias generales de cada etapa, del Coeficiente de Variación y los valores de la R Cuadrada de dicha prueba se presentan en el Cuadro 23.

Cuadro 22. Resumen del análisis de varianza de las medias del consumo de agua en cada una de las etapas en que se dividió el ciclo de jitomate.

Variable	F. V.	G. L.	C. Medio	F	Pr>F	Sig.
Etapa 1 46 a 60 dds	Bloque	3	459386.458	4.06	0.1398	
	Tratamiento	1	2802528.125	24.80	0.0156	*
	Error	3	113011.458			
Etapa 2 61 a 89 dds	Bloque	3	518108.333	0.40	0.7664	
	Tratamiento	1	4992800.000	3.82	0.1456	ns
	Error	3	1307125.000			
Etapa 3 90 a 149 dds	Bloque	3	48353469.8	25.94	0.0120	
	Tratamiento	1	4984903.1	2.67	0.2005	ns
	Error	3	1864186.5			
Total 46 a 149 dds	Bloque	3	54041454.2	42.94	0.0058	
	Tratamiento	1	37714612.5	29.96	0.0120	*
	Error	3	1258637.5			

*= Diferencias significativas entre los efectos de los tratamientos

**= Diferencias altamente significativas entre los efectos de los tratamientos

ns = No hay diferencias significativas entre los efectos de los tratamientos

Cuadro 23. Valores de la media general, Coeficientes de Variación y valores de R cuadrada en el análisis de varianza de las medias del consumo de agua en cada una de las etapas en que se dividió el ciclo de jitomate.

Variable	Media general (ml)*	C. V. (%)	R cuadrada
Etapla 1 (46 a 60 dds)	2229.38	15.08	0.924988
Etapla 2 (61 a 89 dds)	13002.50	8.79	0.625412
Etapla 3 (90 a 149 dds)	45994.38	2.97	0.964067
Total (46 a 149 dds)	61226.25	1.83	0.981456

* Datos en ml utilizados en promedio en cada etapa por una maceta con área de 0.0615 m²

Como en este experimento con las pruebas de análisis de varianza si se detectaron diferencias significativas, para la comparación o separación de las medias se utilizó la prueba de Tukey (con $\alpha = 0.05$) y sus resultados se muestran en el Cuadro 24. Las medias del total de agua consumida para cada etapa están dadas en ml por maceta, la cual tenía una superficie de 0.0615 m², como se señaló en el apartado de materiales y métodos.

Cuadro 24. Consumo de agua por los tratamientos acolchado y no acolchado.

	Etapla 1 (46 a 60 dds)	Etapla 2 (61 a 89 dds)	Etapla 3 (90 a 149 dds)	Total (46 a 149 dds)
Tratamiento	Consumo	Consumo	Consumo	Consumo
Si acolchado	1637.5 a	12212.5 a	45205.0 a	59055.0 a
No acolchado	2821.3 b	13792.5 a	46783.8 a	63397.5 b
DMS Tukey (0.05)	764.7	2600.7	3105.8	2551.9

DMS= Diferencia Mínima Significativa.

Valores de columna con la misma letra son estadísticamente iguales.

Durante todo el período comprendido por los primeros 14 días, en las macetas que no se puso acolchado plástico, el consumo de agua global fue de 1183.8 ml más, que en las macetas que si se colocó el acolchado, lo que en promedio correspondería a un consumo diario de 84.55 ml por maceta (1.373 L.m²). En el segundo período, que duró 24 días, la diferencia global fue de 1580 ml más en las macetas sin acolchado, lo que arroja un promedio de consumo por día de 65.84 ml por maceta (1.069 L.m²). En la tercera etapa el consumo extra del tratamiento no

acolchado sumó 1578.8 ml más por maceta, para un período de 59 días, lo que da un promedio de gasto por día de 0.435 L.m^{-2} más que en el tratamiento con acolchado plástico.

La diferencia global al final del ciclo resultó ser de 4342.5 ml por maceta. Esa cantidad extra de consumo total por el tratamiento no acolchado, corresponde a 70.523 L.m^{-2} de solución gastada de más. Si se considera que se contabilizó para un período de 103 días, el consumo extra promedio diario del tratamiento no acolchado fue entonces de 0.684 L.m^{-2} .

De lo anterior se requiere resaltar, en primer lugar, que sí hubo diferencias significativas en el consumo total de agua entre el tratamiento que estuvo con acolchado plástico y el tratamiento sin acolchado plástico. Que la diferencia en el consumo promedio diario varió durante el ciclo desde 1.373 a 0.435 L.m^{-2} , siendo mayor al principio, y la diferencia fue disminuyendo en las otras etapas del ciclo.

Para tener más detalle de los consumos en los dos tratamientos, se dividió el ciclo en semanas y se calcularon los acumulados para cada una de las semanas 7 a 22, valores que se muestran en la Figura 11 en la que se expresan los datos del agua consumida en litros por unidad de superficie.

El final de la semana 9 corresponde en la Figura 11 precisamente con el primer muestreo que se realizó a los 60 dds, y a partir de ahí se nota un cambio en la curva, que se hace más evidente entre la semana 10 y 11. Entre la semana 13 y 14 se presenta otro cambio aún más notable en la curva, coincidiendo con el hecho de que el fin de la semana 13 correspondió con el día en que se realizó el segundo muestreo (89 dds). Estos cambios indican que hubo un aumento en el consumo de agua de las plantas, el cual se puede atribuir a que aumentó la evaporación, o a que se dio una mayor intercepción de luz de las hojas de las plantas que quedaron al retirar las plantas correspondientes a la muestra.

También el consumo diario se promedió para cada una de las semanas, y con esos datos se elaboró la Figura 12, de manera que se pudo obtener un indicador de la cantidad promedio de litros por metro cuadrado (o por planta), consumidos cada día, pero para períodos semanales.

La información deja ver que entre las semanas 8 y 10 el consumo promedio diario del tratamiento no acolchado fue mayor que en otros períodos (más de $2.4 \text{ L.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$), lo que escasamente explica esa diferencia estadística que se detectó al final de la primera etapa (60 dds). Por ocurrir en el período en que se retiraron las plantas del primer muestreo, es posible que esa diferencia se explique en función de una mayor evaporación, a causa de una mayor incidencia de radiación en el sustrato de los tratamientos sin acolchar.

En algunos períodos el promedio del consumo de agua fue ligeramente mayor en el tratamiento no acolchado que en el que estuvo acolchado (Figura 12). Esos períodos estuvieron relacionados con la presencia de días despejados pero con bajas temperaturas.

También es importante señalar que se llegó a tener una exigencia máxima de $14.5 \text{ L.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$, en la semana 14, una semana después del segundo muestreo, y que después de un descenso a $9.4 \text{ L.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$, el consumo se mantuvo por cinco semanas en alrededor de $12 \text{ L.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$. Se resalta esto, porque se maneja la información de que en jitomate se requieren, en general, de unos $8 \text{ L.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$, lo cual puede ser aplicable a sistemas como el descrito por la empresa COLJAP, en que se emplean bajas densidades de plantación (Anónimo, s,a); pero no ocurrió así en este experimento que se condujo en macetas y en que se trabajó con lo correspondiente a una densidad de $24 \text{ plantas m}^{-2}$.

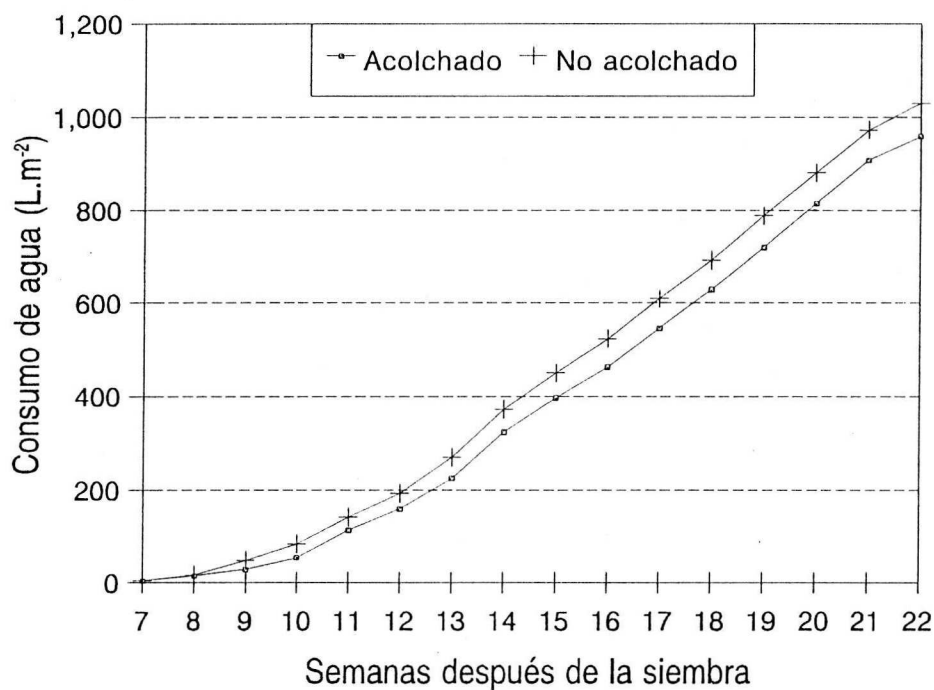


Figura 11. Consumo acumulado de agua por plantas de jitomate bajo condiciones de acolchado y no acolchado plástico.

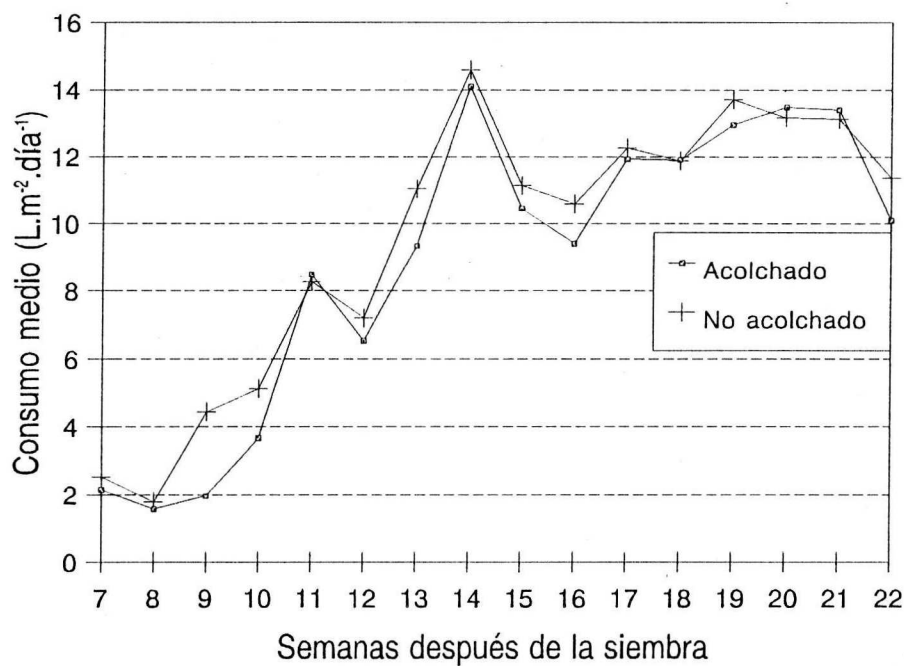


Figura 12. Consumo semanal de agua por plantas de jitomate bajo condiciones de acolchado y no acolchado plástico.

Se señaló con anterioridad que la cantidad extra de consumo global por el tratamiento no acolchado, fue de 70.523 L.m⁻² de solución gastada de más; para una superficie de una hectárea, eso significarían 705.235 m³. Si el costo del metro cubico de solución es de ocho pesos, resulta que por este concepto, la diferencia al final vendría siendo de \$5,640.00, por no acolchar una hectárea de jitomate. Así que el costo de la cantidad de agua ahorrada por hectárea prácticamente corresponde a lo que cuesta el plástico para realizar el acolchado.

Pero más allá de los costos, es evidente que se presentan problemas de tipo operativo, por tener que manejar cantidades mayores de solución en ciertos momentos del ciclo; por ejemplo, esa diferencia de casi 2.5 L.m⁻².día⁻¹ que se presentó en la semana 9, representa que de la solución se tendrían que tener disponibles, cada día de esa semana, 25 m³.ha⁻¹ más, que cuando el cultivo se tiene acolchado.

Otra ventaja que se comprobó del uso del acolchado en este cultivo, se desprende del hecho de que mediante la prueba de análisis de varianza (ver Cuadro 25) se encontró que no hubo diferencias significativas por efecto de los tratamientos para la variable rendimiento, lo cual es muy importante, porque si en el consumo de agua global sí hubo diferencias estadísticas, pero no las hubo en el rendimiento, eso indica que se incrementó la eficiencia en el uso del agua, es decir, la cantidad de materia producida por metro cúbico de agua consumida durante el ciclo (Rodríguez, 1986).

Cuadro 25. Resumen del análisis de varianza de la variable rendimiento en los tratamientos acolchado y no acolchado.

Variable	F. F.	G. L.	C. Medio	F	Pr>F	Sig.
Rendimiento	Bloque	3	16.76399950	4.42	0.1268	
	Tratamiento	1	4.32074170	1.14	0.3641	ns
	Error	3	3.79304429			
Coeficiente de Variación = 13.59; R cuadrada = 0.82						

Como se hizo en los otros casos, también en éste se aplicó la prueba de Duncan ($\alpha = 0.10$), pero tampoco se detectaron efectos de los tratamientos con esta prueba, a pesar de que las medias de rendimiento total fueron de 15.064 kg.m⁻² para el tratamiento en que se usó acolchado plástico y de 13.595 kg.m⁻² para el tratamiento en que no se utilizó el acolchado.

5.6. Evaporación

Los datos obtenidos de los botes sin plantas que se colocaron para medir la evaporación, se utilizaron para calcular el valor medio diario promedio de la semana, en términos de L.m⁻².día⁻¹; de esa manera se pudo obtener un indicador de la cantidad promedio de litros por metro cuadrado, evaporados cada día, pero también para períodos semanales (datos que se muestran en el Cuadro 26) y cuando se graficaron junto con los valores del consumo medio diario de agua (promedio semanal), se observó que había entre ellos una cierta relación, por lo que se buscó la forma de expresarla en forma numérica simple. Uno de los valores que se probó fue el cociente del valor del consumo (valor medio diario, promedio de la semana) entre el valor medio diario de la evaporación (también promedio semanal).

Cuadro 26. Valores del consumo medio diario y de la evaporación media diaria, promedios de las semanas 13 a 22, expresados en términos de L.m⁻².día⁻¹.

Semana	Consumo de agua		Evaporación	
	Acolchado	No acolchado	Tezontle	Agua
13	09.349	11.046	3.608	3.946
14	14.105	14.584	4.478	4.538
15	10.457	11.130	3.152	3.213
16	09.419	10.573	3.252	3.107
17	11.927	12.258	2.777	3.133
18	11.904	11.887	2.807	2.828
19	12.945	13.705	3.124	3.589
20	13.485	13.160	2.466	2.727
21	13.409	13.125	2.892	3.288
22	10.109	11.360	1.956	2.460

La Figura 13 se elaboró con los datos del consumo de agua en el tratamiento con acolchado plástico, junto con los valores de la evaporación media en los botes (sin plantas) con agua y con tezontle, y también los valores de los dos cocientes de esos datos.

En la Figura 14 se representan los valores del consumo de agua, así como los valores de la evaporación media en los botes (sin plantas) con agua y con tezontle, y también los valores de los dos cocientes de esos datos, pero correspondientes al tratamiento que no tuvo acolchado plástico.

En ambas figuras se trazaron los valores de evaporación y los valores de los cocientes como tendencias, pues en el análisis gráfico previo se observó que a medida que se incrementó el ciclo del cultivo, el cociente “consumo/evaporación” presentó un valor mayor, indicando que del valor del consumo de agua del día, la parte correspondiente a lo que se transpiró, fue proporcionalmente mayor que la parte que se perdió por evaporación.

Dado que consistentemente se presentó la misma tendencia al trabajar con los datos de los dos tratamientos (acolchado y no acolchado) y con las dos formas de medición de la evaporación (en bote con agua y en bote con tezontle saturado con agua), se decidió realizar un análisis de regresión simple de los valores de los cocientes “consumo/evaporación” con respecto al tiempo del ciclo del cultivo, empleándose para ello tanto los valores medios diarios correspondientes a los promedios de las 10 semanas en que se tomaron datos de evaporación, como con los 66 datos de consumo y evaporación diaria de ese período.

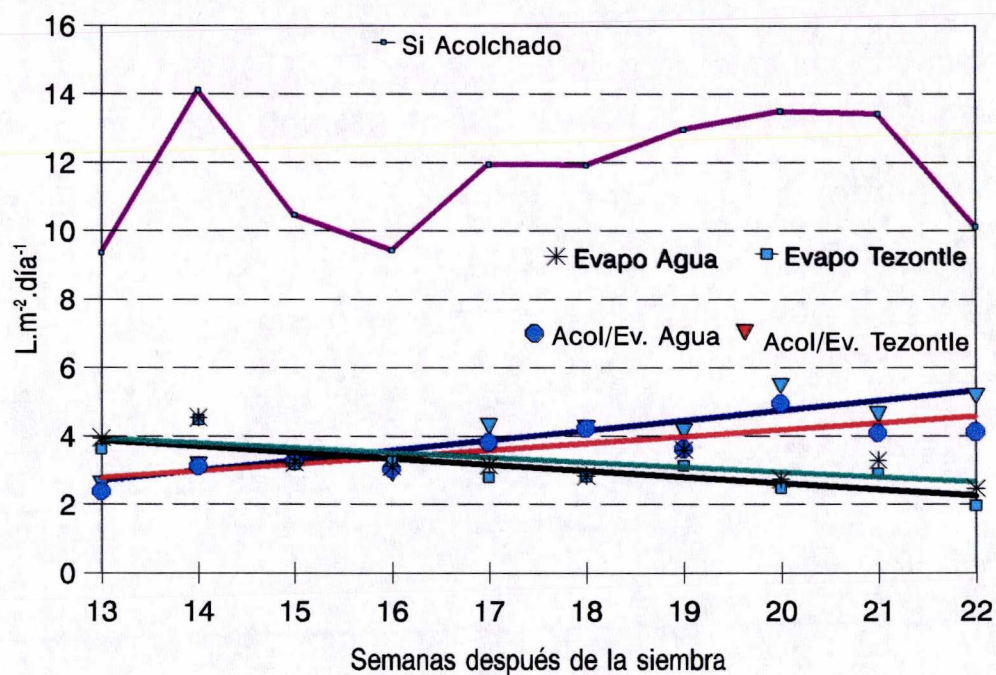


Figura 13. Consumo de agua en el tratamiento con acolchado plástico, evaporación y cocientes de consumo/evaporación.

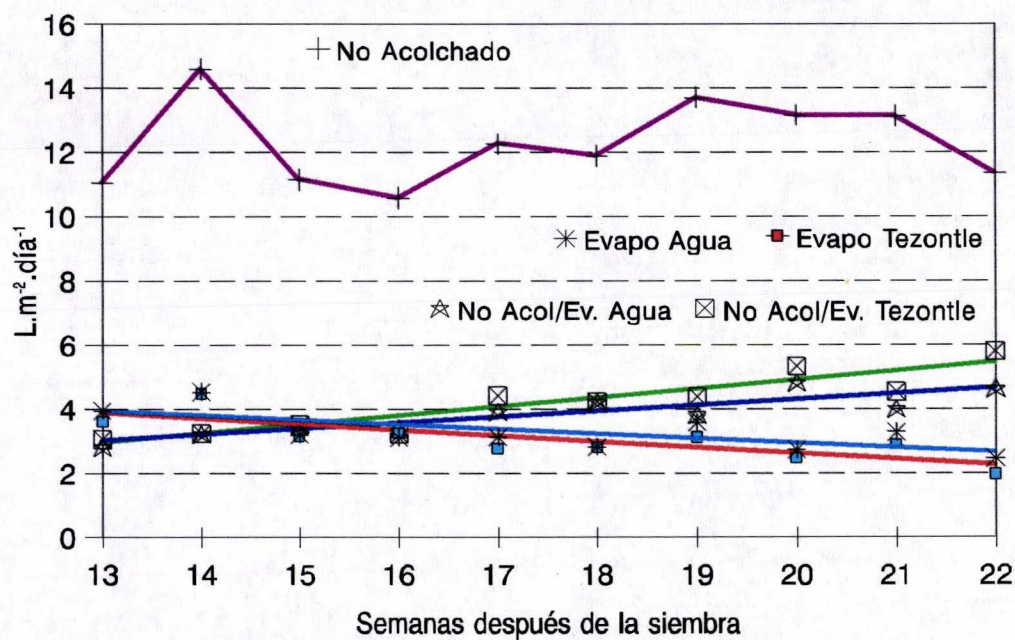


Figura 14. Consumo de agua en el tratamiento sin acolchado plástico, evaporación y cocientes de consumo/evaporación.

Las ecuaciones que se obtuvieron de dicho análisis de regresión simple, permiten proponer una fórmula de un factor de consumo de agua (FCA), útil para relacionar el dato de consumo de agua (en $L.m^{-2}$) con la evaporación de una determinada semana o día del ciclo del cultivo de jitomate dentro de ese período. Para ello, el valor que se obtiene de FCA se requiere multiplicar por la evaporación (en $L.m^{-2}$), medida ya sea en los botes con agua o en los botes con tezontle.

Las fórmulas de los factores de consumo de agua (FCA) en función de la semana correspondiente del ciclo del cultivo son las siguientes:

Cultivo no acolchado:

- 1) Para cuando la evaporación es medida en bote con agua

$$FCA\ 1 = 0.626 + 0.183\ Semana$$

- 2) Para cuando la evaporación es medida en bote con tezontle

$$FCA\ 2 = - 0.688 + 0.278\ Semana$$

Cultivo con acolchado plástico:

- 1) Para cuando la evaporación es medida en bote con agua

$$FCA\ 3 = 0.149 + 0.2\ Semana$$

- 2) Para cuando la evaporación es medida en bote con tezontle

$$FCA\ 4 = -1.102 + 0.291\ Semana$$

Las fórmulas de los factores de consumo de agua (FCA) en función del día correspondiente del ciclo del cultivo son las siguientes:

Cultivo no acolchado:

1) Para cuando la evaporación es medida en bote con agua

$$\text{FCA 5} = 1.217 + 0.023 \text{ DÍA}$$

2) Para cuando la evaporación es medida en bote con tezontle

$$\text{FCA 6} = - 0.171 + 0.037 \text{ DÍA}$$

Cultivo con acolchado plástico:

1) Para cuando la evaporación es medida en bote con agua

$$\text{FCA 7} = 0.513 + 0.028 \text{ DÍA}$$

2) Para cuando la evaporación es medida en bote con tezontle

$$\text{FCA 8} = - 0.814 + 0.041 \text{ DÍA}$$

En las figuras 15 a 18 se presentan las líneas que resultaron de las ecuaciones de regresión, y se hace en forma de nomogramas para que gráficamente se puedan obtener los valores de esos cocientes (denominados en este trabajo factores de consumo de agua); los cuales en realidad sólo expresan en forma práctica, a cuántas veces el valor de la evaporación obtenida mediante esos botes, ascendió el valor del agua consumida, y como se puede ver, en general varió desde 2.6 hasta 5.4 veces en el período de la semana 13 a la 22.

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo de los FCA para la semana 18, empleando las fórmulas y su comparación con el empleo de los nomogramas:

1) Supóngase que se trata de un cultivo no acolchado y que la evaporación es medida en bote con agua.

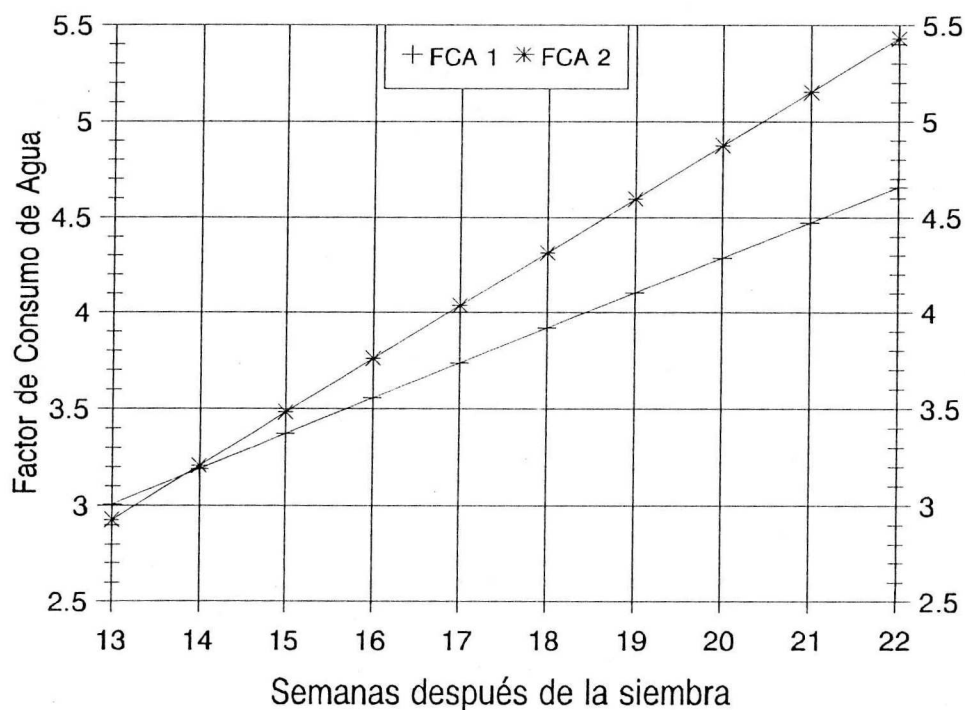


Figura 15. Nomograma de la ecuación de regresión de los valores del cociente "consumo/evaporación" (FCA), para cultivo sin acolchado plástico. Período del ciclo del cultivo en semanas

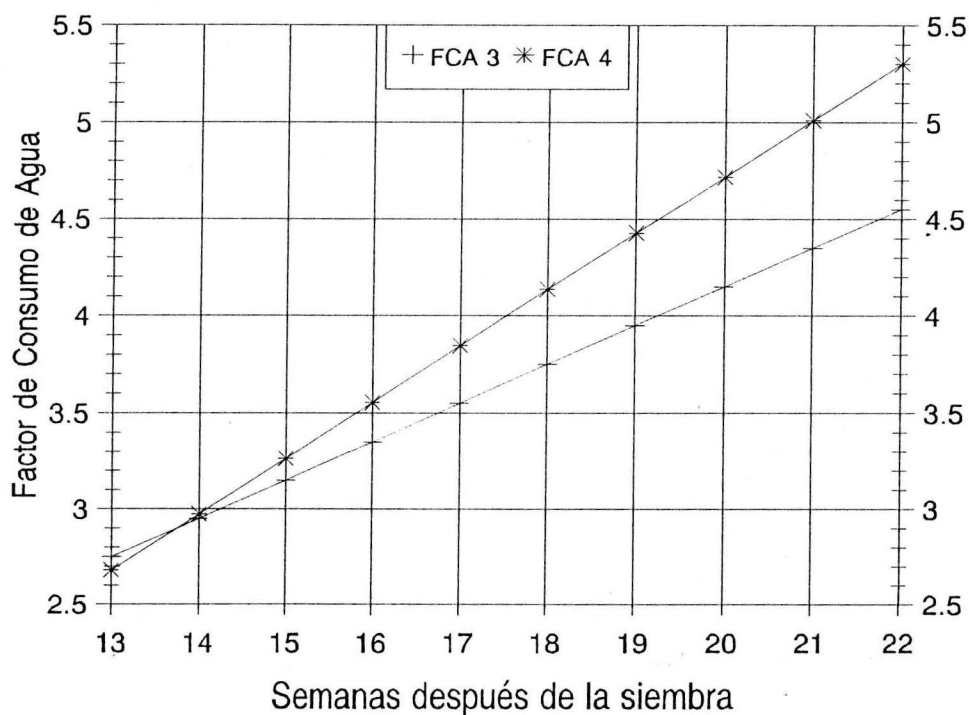


Figura 16. Nomograma de la ecuación de regresión de los valores del cociente "consumo/evaporación" (FCA), para cultivo con acolchado plástico. Período del ciclo del cultivo en semanas.

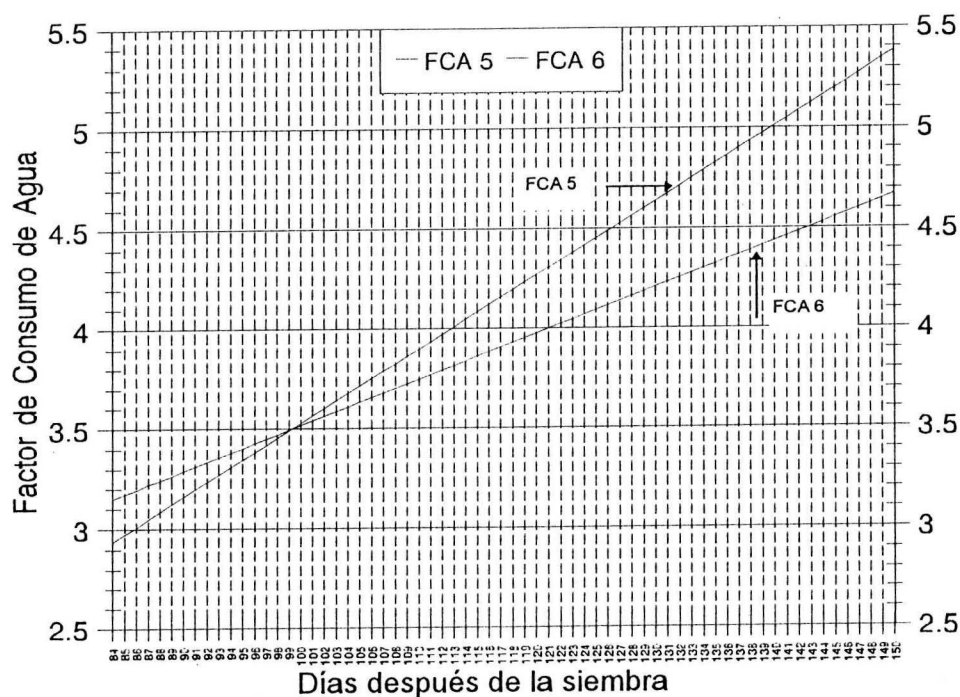


Figura 17. Nomograma de la ecuación de regresión de los valores del cociente “consumo/evaporación” (FCA), para cultivo sin acolchado plástico. Período del ciclo del cultivo en días.

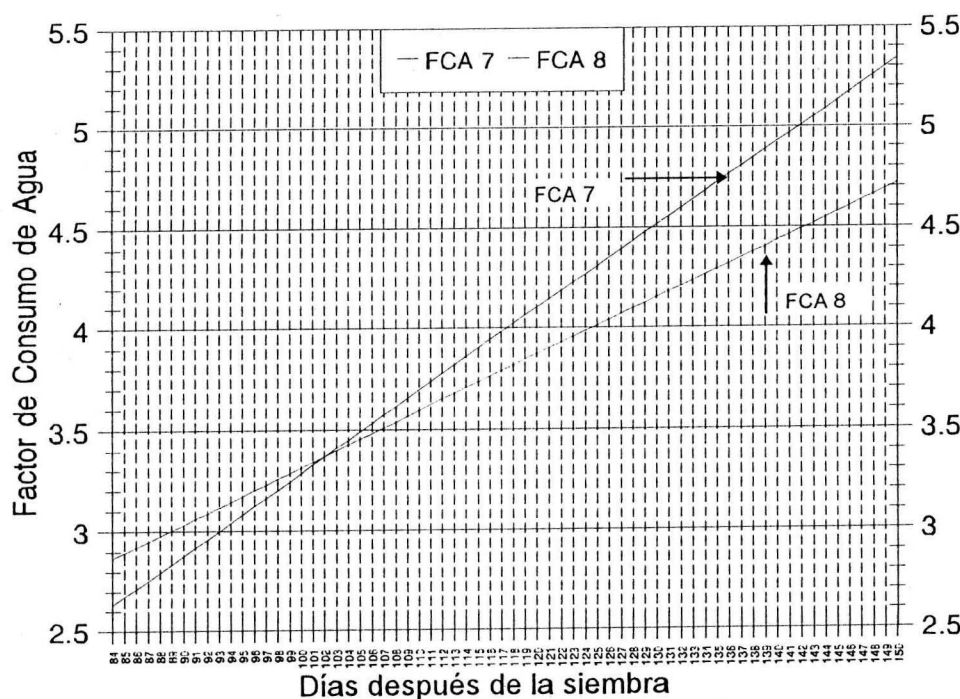


Figura 18. Nomograma de la ecuación de regresión de los valores del cociente “consumo/evaporación” (FCA), para cultivo con acolchado plástico. Período del ciclo del cultivo en días.

$$\text{FCA 1} = 0.626 + 0.183 \text{ Semana}$$

$$\text{FCA 1} = 0.626 + 0.183 \times 18$$

$$\text{FCA 1} = 0.626 + 3.294$$

$$\text{FCA 1} = 3.92$$

En la Figura 15 el valor de FCA 1 para la semana 18 es de 3.9.

Con ese valor de FCA, el valor del consumo para esa semana se obtiene multiplicándolo por el dato de evaporación obtenido en bote con agua (y transformado a L.m^{-2}). Supóngase que es de 2.828 como el observado en el período en estudio (ver Cuadro 26).

$$\text{Consumo} = \text{FCA 1} \times \text{Evaporación en bote con agua.}$$

$$\text{Consumo} = 3.92 \times 2.828 \text{ L.m}^{-2} \text{ (ó } 3.9 \times 2.828 \text{ si se usa el dato de la figura).}$$

$$\text{Consumo} = 11.085 \text{ L.m}^{-2} \text{ ó } 11.029 \text{ L.m}^{-2} \text{ (El valor observado fue de 11.887).}$$

2) Si la evaporación se mide en bote con tezontle se emplea FCA 2.

Procediendo de la misma manera, se tiene que:

$$\text{FCA 2} = -0.688 + 0.278 \text{ Semana}$$

$$\text{FCA 2} = -0.688 + 0.278 \times 18$$

$$\text{FCA 2} = -0.688 + 5.004$$

$$\text{FCA 2} = 4.316 \text{ (ó FCA 2 = 4.3 en la figura 15).}$$

$$\text{Consumo} = \text{FCA 2} \times \text{Evaporación en bote con tezontle.}$$

$$\text{Consumo} = 4.316 \times 2.807 \text{ L.m}^{-2}$$

$$\text{Consumo} = 12.115 \text{ L.m}^{-2} \text{ ó } 12.070 \text{ L.m}^{-2} \text{ (el valor observado fue de 11.887).}$$

Se procede de manera semejante con las otras fórmulas o nomogramas.

Los resultados obtenidos (esos valores de consumo de agua que variaron desde 2.6 hasta 5.4 veces la evaporación) contrastan con los resultados que

reportan Peña *et al.* (1980), en que para calcular la cantidad con la cual regar en un invernadero pequeño se empleó el dato de evaporación de un bote de 5 L.

En el Cuadro 27 se muestran los valores de los Coeficientes de Determinación que resultaron de los análisis de varianza de las regresiones. En los modelos en que se emplearon los datos promedios diarios de cada semana, se obtuvieron valores mayores del coeficiente; y dentro de éstos, los modelos que usaron los datos de evaporación del bote con tezontle para el cálculo del cociente “consumo/evaporación”, tuvieron un valor de más de 80% en dicho coeficiente. Por lo que, al menos para esa parte del ciclo, se puede decir que esos son los mejores modelos que relacionan la evaporación con el consumo de agua.

Cuadro 27. Coeficiente de Determinación (R cuadrada) de los diferentes modelos de regresión. Valores expresados en porcentaje.

Sistema de Cultivo	Evaporación medida en:	De los modelos para el FCA	
		Datos en semanas	Datos en días
No acolchado	Agua	77.80	23.93
	Tezontle	84.14	47.64
Acolchado	Agua	67.70	29.51
	Tezontle	82.46	56.10

Con el riesgo que hay de toda extrapolación, se pueden proponer esos modelos como una recomendación de tipo práctico para su empleo en condiciones de producción comercial en los invernaderos, ya que solamente se requieren botes de 20 L, de material plástico, llenos con tezontle hasta una altura de 30 cm, y llevados a saturación para estar midiendo diariamente la evaporación, y multiplicarla por el factor correspondiente, como una alternativa al empleo mismo de un sistema de medición basado en un lisímetro de drenaje. Mayor precisión podría lograrse colocando varios de estos botes en diferentes partes del invernadero y mediante el promedio obtener un gasto medio.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La disminución en un 33 y 66% de la concentración base, no causó una disminución significativa en el rendimiento total de jitomate.

La disminución de la concentración de potasio en la solución nutritiva aún hasta el 33% de lo que se tuvo en la concentración base, no afectó la expresión del peso medio del fruto, pero sí influyó negativamente al ocasionar que por diámetro pequeño (> 4.0 cm de diámetro) y por daños o deformaciones, disminuyera el rendimiento comercial en cerca de 2 kg.m^{-2} y que los frutos tuviesen un menor porcentaje de materia seca, aspectos que están relacionados con la calidad del fruto.

La disminución en la concentración de fósforo de la solución nutritiva no afectó el número de frutos; pero el rendimiento total y el peso medio del fruto si tendió a disminuir. Lo observado como efectos de estas soluciones nutritivas sugiere que el comportamiento de las disminuciones de la concentración base, se deben principalmente a la disminución del fósforo.

La disminución de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva no manifestó efecto en las variables, a excepción de la precocidad, respecto de la cual se encontró que el tratamiento con la concentración de 66% de nitrógeno tendió a ocasionar el promedio más bajo de número de días a cosecha.

El tratamiento con la solución en la que todos los nutrimentos estuvieron al 66% de la concentración base, causó prácticamente el mismo rendimiento total de frutos que la solución completa, y produjo la mayor cantidad de rendimiento comercial, por lo que se puede considerar como el mejor tratamiento agronómico y comercialmente.

Hubo un ahorro significativo del 7.35% en el consumo de solución nutritiva en el tratamiento en que se usó acolchado plástico, mejorando la eficiencia del uso del agua.

Los cocientes consumo/evaporación, expresados en términos de $L.m^{-2}.día^{-1}$, resultaron ser variables que dieron buenos modelos de regresión simple para predecir el consumo diario de solución por evapotranspiración en las plantas de cultivo.

En función de los resultados y las experiencias obtenidas de la presente investigación, a continuación se sugieren algunas recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas con este tema:

1.- Es conveniente establecer un laboratorio de hidroponía que facilite la investigación de aspectos más detallados sobre el manejo de concentraciones de la solución nutritiva, pues es necesario seguir investigando para hacer aun más eficiente el uso de los nutrimentos y del agua.

2.- Se recomienda realizar un estudio en que se incluyan 75, 50 y 25% de la Concentración base, pues aunque sólo se tuvieron tres niveles en este trabajo, en algunas de las curvas se nota que puede haber un punto intermedio entre 66 y 33% en que se tenga buena respuesta.

3.- También es importante considerar el evaluar las diferentes concentraciones según la etapa de desarrollo del cultivo, a fin de precisar sus necesidades específicas.

4.- El comportamiento observado del cultivar 'Solarset' hace pensar que en el sistema a un racimo es posible manejarlo a una densidad de plantas por metro cuadrado aun mayor que la empleada en este trabajo. Tal vez hasta 32 plantas.m².

5.- Sería deseable buscar cómo resolver operativamente un mejor sistema de riego, pues aparentemente de ello depende el que se pueda bajar aún más la concentración de la solución nutritiva.

6.- Es conveniente realizar mediciones de consumo y evaporación en otras épocas del año, para afinar las ecuaciones de regresión para una recomendación práctica en condiciones comerciales.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, P. 1986. Mineral nutrition. In: Atherton, J.G. and J. Rudich. (Eds.) 1986. The Tomato Crop: A scientific basis for improvement. Chapman and Hall. London. pp. 281 - 334.
- Aidárov, I.P., A.I. Golovánov. y M.G. Mamáev. 1985. El Riego. Trad. de Argelio González Rodríguez. Ed. Mir. Moscú, URSS. 368 pp.
- Alam, K. 1992. Nutrient uptake patterns in hydroponically grown tomatoes. Sarhad Journal of Agriculture. 8: 2 pp: 147-154.
- Anónimo, 1990. Hidroponia: tecnología hortícola adaptable a regiones áridas y semiáridas (V). Síntesis Hortícola. Febrero 1990. pp: 30 - 36.
- Anónimo, 1991. Microaspersión en árboles frutales. Agricultura de las Américas. Septiembre/Octubre, Año 40, N° 5. pp: 18 - 25.
- Anónimo. s.a. El jitomate. en: Aprende Fácil Cultivos Hidropónicos. Ediciones culturales Ver Ltda. Bogotá, Colombia. Vol. 13 - 14. p. 213.
- Atherton, J.G. and G.P. Harris. 1986. Flowering. In: Atherton, J.G. and J. Rudich. (Eds.) 1986. The Tomato Crop: A scientific basis for improvement. Chapman and Hall. London. pp. 167-200.

- Bando, K. 1991. Growing tomatoes in flowering culture solution (1). *Agriculture and Horticulture*. 66 (6): 731-736.
- Benton, J. J. Jr., B. Wolf and H.A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook: a Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide*. Micro-Macro Publishing, Inc. USA. 213 pp.
- Calvert, A. 1964. The effect of air temperature on growth of young tomato plants in natural light conditions. *Journal of Horticultural Science*. 39:194-211.
- Cánovas M., F. 1995. Manejo del cultivo sin suelo. *In: Nuez, F. (Coordinador) 1995. El Cultivo del Tomate*. Ediciones Mundi-Prensa. España. p.227-254
- Cásseres, E. 1966. *Producción de Hortalizas*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Lima, Perú. p.26.
- Castro G., F. H. 1994. Evaluación nutricional de cuatro variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero hidropónico. Proyecto de investigación. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México. s.p. Mimeo.
- Cook, W.P. and D. C. Sanders. 1990. Fertilizer placement effects on soil nitrogen and use by drip-irrigated and plastic-mulched tomatoes. *HortScience*. 25: 7 pp: 767-769.
- Cuartero Z., J.; R. Fernández M. y J.J. González F. 1995. Estreses Abióticos. *In: Nuez, F. (Coordinador) 1995. El Cultivo del Tomate*. Ediciones Mundi-Prensa. España. pp. 351-383.

- Chamarro L., J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. *In*: Nuez, F. (Coordinador) 1995. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa. España. p. 43-91
- Chi, S.H. and G. S. Han. 1994. Effect of nitrogen concentration in the nutrient solution during the first 20 days after planting on the growth and fruit yield of tomato plants. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*. 35: 5 pp: 415-420.
- Chung, S.J., B. S. Seo and B. S. Lee. 1992. Effects of nitrogen, potassium levels and their interaction on the growth and development of hydroponically grown tomato. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*. 33: 3 pp: 244-251.
- Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1979. Yield Response To Water. FAO. Irrig. and Drain. Pap. 33. FAO, Roma. pp. 163.
- Esquinas A., J. y F. Nuez V. 1995. Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. *In*:: Nuez, F. (Coordinador) 1995. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa. España. pp. 13-42.
- FAO. 1990. Soiless Culture for Horticultural Crop Production. Roma. 181 pp. Plant production and protection paper 101.
- Gómez H., T. y J. Ponce O. 1997. Análisis técnico económico del sistema de producción de jitomate en el "Rancho Cartujano", Municipio de Ezequiel Montes, Querétaro. Informe del curso Aplicación Hortícola. Departamento de Fitotecnia, Maestría en Horticultura, UACH. Chapingo, México. Mimeo. 38 h.

- Guenkov, G. 1969. Fundamentos de la Horticultura Cubana. Ciencia y Tecnología. Instituto del Libro. La Habana, Cuba. pp. 129.
- Hurd, R. G. and A. J. Cooper. 1967. Increasing flower number in single-truss tomatoes. *Journal of Horticultural Science*. 42:181-188.
- Hurd, R. G. and A. J. Cooper. 1970. The effect of early low temperature treatment on the yield of single inflorescence tomatoes. *Journal of Horticultural Science*. 45:19-27
- Ibarra, L. y A. Rodríguez. s.f. Manual de agroplásticos 1. Centro de Investigaciones en Química Aplicada (CIQA). CONACYT. México. 20 pp.
- Jakhro, A.A. 1995. Effects of nutrient culture solutions on growth and yield of tomato. *Planter*. 71: 832 pp: 301-305.
- Jones, J. W., L. H. Allen, S.F. Shih, S.S. Rogers, L.C. Hammand, A. G. Smajstrda and J.D. Martsolf. 1984. Estimated and measures evapotranspiration for Florida climate crops and soil. *Florida Agric. Exp. Sta. Tech. Bull.* 840.
- Kramer, P.J. 1974. Relaciones Hídricas de Suelo y Plantas: Una Síntesis Moderna. Trad. por Leonor Tejada. Edutex, S.A. México. 538 pp.
- Kramer, P.J. 1983. *Water Relations Of Plants*. Academic Press, Inc. Orlando, USA. 489 pp.
- Lammont, W. J. Jr. 1991. Horticultura y riego por goteo. *Agricultura de las Américas*. Septiembre/Octubre, Año 40, Nº 5. pp. 8 - 16.

- Larqué-Saavedra, A. y L .C. Trejo. 1990. El Agua en las Plantas: Manual de prácticas de fisiología vegetal. Trillas. México. 88 pp.
- León A., R. 1984. Nueva Edafología: Regiones Tropicales y áreas Templadas de México. Ed. Gaceta S.A. México. 340 pp.
- León, J. 1987. Botánica de los Cultivos Tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 445 pp. Colección Libros y Materiales Educativos N . 84.
- Lindhaver, M. G. 1983. Effect of Potassium on Water Use Efficiency. In: Nutrient Balances and the Need for Fertilizers in Semi-Arid and Arid Regions. Proceeding of the 17th Colloquium of the International Potash Institute held in Rabat and Marrakech/Morocco. pp. 81-97.
- Mullins, C.A., R. A. Straw and A. D. Rutledge. 1992. Tomato production with fertigation and black plastic mulch. Tennessee Farm and Home Science. 164: 23-28.
- Ohta, K.; N. Ito; T. Hosoki; K. Inaba and T. Bessho. 1994. The influence of the concentration of the hydroponic nutrient culture solutions on the cracking of cherry tomato with special emphasis on water relationship. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 62(4): 811-816.
- Oliveira, C.A.; C. O. Alves; A.F.L. Olitta; N.V.B. dos Reis e F.R. Rezende. 1980. Irriga  o por gotejamento e fertirriga  o N. e K. em jitomateiro. en: Merea, A. (Ed.). 1980. III Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo. IICA, ABID. Campinas, Sao Paulo, Brasil. 8 - 5 de Octubre de 1979. pp: 476 - 490.

Olmos B., G., A.E. Calvillo, U.E. González, P.R. Lugo, G.J. Vargas, P.P. Peña, A.G. Rebollar y J.S. Lizárraga. 1982. Ciclos de Cultivo: Diagramas de las Principales Especies Vegetales con las Cuales se Efectúan Investigaciones Agrícolas en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Diagrama 50.

Palacios V., E. y G. A. Martínez. 1978. Respuesta en el Rendimiento de los Cultivos a Diferentes Niveles de Humedad del Suelo: Un Enfoque Metodológico de Investigación. SARH, Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 149 pp.

Pardossi, A., A. Fiorini, F. Tognoni, G. Serra, C.A. Campiotti and G. Picciurro. 1992. Tomato plants grown with NFT in a Mediterranean climate: growth, fruit yield, water usage and macronutrient uptake in relation to growing season. *Agricoltura Mediterranea*. 122: 1 pp: 75-84.

Pascale, S. de., G. Barbieri and S. De Pascale. 1992. Effects of line spacing and mulching on the yield of processing tomatoes irrigated by seep hose. *Irrigazione e Drenaggio*. 39: 2 pp: 23-30

Peña P., E., M.F. Mendoza, S.F. Vega y A. Rodríguez. 1980. Avances de la investigación en riego por goteo en la República Mexicana (1979). en: Merea, A. (Ed.). 1980. III Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo. IICA, ABID. Campinas, Sao Paulo, Brasil. 8 - 5 de Octubre de 1979. pp. 136 - 163.

Pineda P., J. 1996. Concentración de la solución nutritiva y fuentes de nitrógeno en el cultivo de crisantemo (*Dendranthema x grandiflorum*) en un sistema

hidropónico abierto. Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Departamento de Fitotecnia, UACH. Chapingo, México. 158 h.

Pitts, D.J., G.A. Clark, J. Alvarez, P.H. Everett and J.M. Grimm. 1988. A comparison of micro to subsurface irrigation of tomatoes. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 101: 393-397.

Pitts, D.J., C.E. Arnold and J.M. Grimm. 1989. Influence of lateral tubing location and number on growth and yield of tomatoes with micro irrigation. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*: 102: 304-307.

Purseglove, J.W. 1968. *Tropical Crops: Dicotyledons*. Longman Group Limited. London. 719 pp.

Quero G, E.; A. Benavides M.; G. E. Terán S. y F. Hernández C. 1993. *Agroplasticultura*. CIBA GEIGY Mexicana, S.A. de C.V.; *Perfiles de Plástico Flexibles*, S.A. de C.V. y Centro de Investigación de Química Aplicada. México. s.p.

Qing Xi, Luo; Zhang, XiaoYuan; Liu, FuChun; Xu, Ying; Luo, Q.X.; Zhang, X.Y.; Liu, F.C. and Xu, Y. 1994. A study on potassium uptake and distribution in tomato plants. *Journal of Southwest Agricultural University*. 16(5): 483-485.

Rick, Ch. M. 1978. El jitomate. *Investigación y Ciencia*, Edición en español de Scientific American. Barcelona, España. N° 25. pp. 45 - 55.

Rodríguez P., A. y L. Ibarra J. 1991. *Semiforzado de cultivos mediante el uso de plásticos*. Noriega, Limusa. México. 129 pp.

- Rodríguez Z., C. 1978. Efecto de la tensión de humedad del suelo sobre tres etapas fenológicas del cultivo de trigo. Tesis de Maestría en Ciencias. Rama de Riego y Drenaje. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 160 h.
- Rodríguez Z., C. 1986. Fotosíntesis, transpiración, eficiencia en el uso de agua, análisis de crecimiento de cuatro cultivares de frijol (Phaseolus vulgaris). Tesis de Doctor en Ciencias. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 333 h.
- Rozek, S., W. Sady and J. Myczkowski. 1990. The effect of nitrate and urea forms of nitrogen on the metabolism of tomato plants grown by the nutrient film technique. *Folia Horticulturae*. 2: 2 pp: 13-27.
- Sady, W., S. Rozek and J. Myczkowski. 1991. Growing of greenhouse tomato from seedlings at different stages of development at various temperatures of the air and nutrient solution. I. Growth and yield of plants. *Folia Horticulturae*. 3: 3 pp: 65-79.
- Salter, P.J. and J.E. Goode. 1967. Crop Response to Water at Different Stages of Growth. Commonwealth Agricultural Bureau Farnham Royal. Bucks, England. 203 pp.
- Sánchez, del C. F. 1994. Relaciones entre fuente y demanda en jitomate manejado con despuntes y altas densidades de población. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 111 h.
- Sánchez, del C. F. 1996. Información proporcionada durante el curso de Sistemas Hidropónicos, Semestre de Primavera. Maestría en Horticultura. UACH. Chapingo, México.

- Sánchez, del C. F. 1997. Valoración de características para la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiente restrictivo. Tesis de Doctorado en Ciencias Especialista en Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 189 h.
- Sánchez, del C. F. y E. R. Escalante R. 1983. Un sistema de producción de plantas Hidroponia: Principios y métodos de cultivo. Universidad Autónoma Chapingo. Patronato Universitario. Chapingo, México. 176 pp.
- Sánchez, del C. F., E. P. Espinoza y R. E. Hernández. 1986. Producción superintensiva de jitomate en hidroponia bajo condiciones de invernadero rústico. Línea de investigación. Departamento de Fitotecnia, UACH. Chapingo, México. Mimeo. 40 h.
- Shrivastava, P.K., M.M. Parikh, N.G. Sawani and S. Raman. 1994. Effect of drip irrigation and mulching on tomato yield. *Agricultural Water Management*. 25: 2 pp: 179-184.
- Smajstrla, A.G. and S.J. Locascio. 1990. Irrigation scheduling of drip irrigated tomato using tensiometers and pan evaporation. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 103: 88-91.
- Smajstrla, A.G. and S.J. Locascio. 1994. Irrigation cutback effects on drip-irrigated tomato yields. 107th Annual meeting of the Florida State Horticultural Society, Orlando, Florida, USA, 30 October-1 November 1994. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 1994, publ. 1995, 107: 113-118.
- Torres G., M. S. 1989. Evaluación de 7 soluciones nutritivas en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), en hidroponia bajo invernadero

rústico. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia, UACH. Chapingo, México. 145 h.

Uronen, K.R., P. Adams (ed.), A.P. Hidding (ed.), J.A. Kipp (ed.), C. Sonneveld (ed.) and C. de Kreij. 1995. Leaching of nutrients and yield of tomato in peat and rockwool with open and closed system. International Symposium on Growing Media & Plant Nutrition in Horticulture, Naaldwijk, Netherlands, 10-16 September, 1994. *Acta-Horticulturae*. 1995, No. 401, 443-449.

Váldez, L. C. y G.F.A. Mariscal. 1995. Factibilidad de la fertigación y el acolchado en riego por goteo para la producción de jitomate. En: Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación. 1995. Resúmenes del VI Congreso Nacional de Irrigación. Chapingo, México. p. 89.

Veliath, J. A. and A. C. Ferguson. 1972. The effect of deblossoming on fruit size, yield and earliness in tomato. *Hortscience* 7(3):278-279.

Vellidis, G.; A.G. Smajstrla and F.S. Zazueta. 1990. Soil water redistribution and extraction patterns of drip irrigated tomatoes above a shallow water table. *Transactions of the ASAE*. 33: 5 pp: 1525-1530.

Yi Qing, He.; S. Terabayashi, T. Namiki and Y. Q. He. 1994. Fundamental study for diagnosis on nutrient status of tomatoes cultured in hydroponics concentration of elements in leaves as influenced by nitrate feeding. *Scientific Reports of the Kyoto Prefectural University, Agriculture*. No. 46: 7-14.