

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS,
CONTABLES Y AGROPECUARIAS



Registro tesis alterno 103

**Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y
calidad de tomate de invernadero**

TESIS

Fidel Núñez Ramírez

Santa Ana, Sonora

Diciembre del 2006

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad
de tomate de invernadero

TESIS

Sometida a la consideración del Departamento
de Administración Agropecuaria

de la

División de Ciencias Administrativas, Contables y Agropecuarias
de la Universidad de Sonora

por

Fidel Núñez Ramírez

Como requisito parcial para obtener el grado

de

Maestro en Ciencias Agropecuarias


Santa Ana Sonora

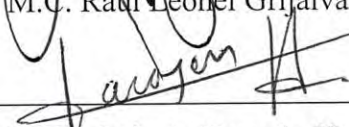
Diciembre del 2006

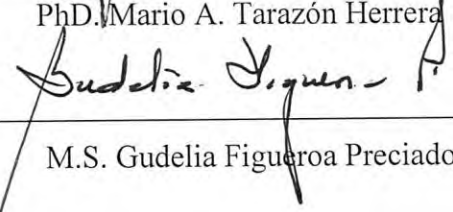
ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL COMITÉ TUTORIAL,
APROBADA Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN
DEL GRADO DE:

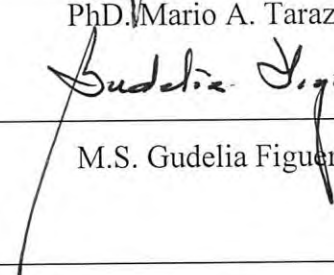
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMITÉ TUTORIAL:

DIRECTOR 
M.C. Raúl Leonel Grijalva Contreras

DIRECTOR 
PhD. Mario A. Tarazón Herrera

ASESOR 
M.S. Gudelia Figueroa Preciado

ASESOR 
Dr. Javier Z. Castellanos Ramos

AGRADECIMIENTOS

- A Dios... que me dio esta oportunidad de nuevo... Gracias!!!
- Al M. C. Raúl Leonél Grijalva Contreras, por la confianza que depositó en mí, aún sin conocerme; sin Usted no hubiera hecho yo posible mi sueño de desarrollar un proyecto en nutrición vegetal.
- Al Dr. Javier Z. Castellanos, quién desde hace seis años me ofreció su apoyo para aprender sobre “La técnica moderna de la producción agrícola”, gracias de vuelta.
- Al Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Caborca, por las facilidades prestadas para la realización de la tesis.
- Al personal de campo del Inifap, quienes desinteresadamente me ayudaron con gran parte del manejo del cultivo. Chancky, Bernabé, “El Güero”, Juan, y los que se me escapen!!!
- Al PhD. Adán Fimbres, por la ayuda prestada para el secado de las muestras de follaje.
- A la Universidad de Sonora Unidad Regional Norte Santa Ana, por darme la oportunidad de desarrollar mi meta de realizar un Postgrado; así mismo por las facilidades otorgadas para la realización de gran parte del trabajo de laboratorio.
- A la Dra. Martha Martín por el empuje inyectado para cumplir con fechas y tiempos del trabajo de campo y escritura.
- A Guadalupe Navarro, por el apoyo brindado, no se que habría hecho sin tu ayuda.
- A toda mi familia completa, así como mi suegro. Gracias por la gas!!!...
- A mi hermano Ricardo, gracias por el material para la colecta de muestras.
- A mi hermano Pedro, carnal !!, nunca podré moralmente pagar lo que hiciste por mí.
Gracias !!!

DEDICATORIA

Como un pequeño homenaje a mis dos grandes amores...

Dedicado a ti mi amor,...

Porque a través de nuestra vida ha habido tantos logros, satisfacciones y hechos inolvidables que han minimizado las cosas difíciles.

Porque siempre hemos recogido los pedazos de sueños para construir otros nuevos.

Porque me has dado fortaleza cuando mi corazón ha estado a punto de desfallecer, y me has dado en ese momento lo que más he necesitado:
Seguridad!!!

Para atreverme a volar.

Porque me has enseñado todas las oportunidades que tiene la vida...

Gracias

Tu esposo.

Porque por Ti crecí de golpe.

Porque eres un ser escogido por Dios.

Porque al ser tu padre, recibo su más grande bendición.

Te quiero hijo

Tu papá.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Generalidades.	3
Origen.	3
Clasificación taxonómica.	4
Requerimientos edafo-climáticos.	5
Fertilización del cultivo de tomate.	8
Monitoreo nutrimental del cultivo.	9
MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
Condiciones generales del estudio.....	12
Ubicación.	12
Características del suelo.....	12
Características del agua de riego.....	12
Preparación del suelo	12
Tipo de invernadero.	13
Características de la planta.....	13
Experimento I: Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de tomate.....	13
Transplante y arreglo topológico del cultivo.	13
Conducción y podas del cultivo.	14
Control de plagas y enfermedades.	15
Logística del experimento.	16
Fuentes de fertilizante.	17

Medición de temperaturas.....	17
Fenología del cultivo.....	18
Determinación del rendimiento y calidad.....	18
Experimento II: Determinación del patrón de absorción de nitrógeno.....	19
Muestras de tejido.....	20
Rendimiento y calidad.....	20
Experimento III: Determinación de rangos de suficiencia de NO ₃ -N en Extracto Celular de Pecíolo.....	20
Muestras.....	20
Análisis químico.....	21
Determinación de los rangos de suficiencia.....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
Generalidades.....	22
Experimento I.....	23
Fenología del cultivo.....	23
Rendimientos.....	27
Tamaño.....	30
Sólidos solubles totales.....	32
Acidez titulable.....	34
Relación sólidos solubles totales · Acidez titulable ⁻¹	35
Experimento II. Determinación del patrón de absorción de nitrógeno.....	37
Rendimiento y calidad.....	37
Materia Seca.....	38
Absorción de nitrógeno.....	40
Experimento III: Determinación de rangos de suficiencia de NO ₃ -N en Extracto Celular de Pecíolo.....	44

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
APÉNDICE.....	62

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Rangos de suficiencia en extracto celular de pecíolo de tomate de invernadero.	11
Cuadro 2. Designación del tamaño del tomate de acuerdo a su diámetro ecuatorial.	18
Cuadro 3. Comparación de medias de cuatro tratamientos nitrogenados y su efecto sobre el rendimiento total y comercial de tomate de invernadero.	27
Cuadro 4. Efecto de la nutrición nitrogenada sobre la distribución del tamaño de frutos de tomate de invernadero.	31
Cuadro 5. Efecto de la nutrición nitrogenada sobre la distribución porcentual del tamaño de frutos de tomate de invernadero.	31
Cuadro 6. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre los sólidos solubles totales en tomate de invernadero.	32
Cuadro 7 . Análisis en forma de parcelas apareadas de dos fechas para el dato de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) en tomate de invernadero.	33
Cuadro 8. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la acidez titulable en tomate de invernadero.	35
Cuadro 9. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la relación sólidos solubles · totales acidez titulable ⁻¹ en tomate de invernadero.	36
Cuadro 10. Número de frutos comerciales y distribución proporcional por planta en la parcela utilizada para la obtención del patrón de absorción de nutrientes.	38
Cuadro 11. Modelos matemáticos obtenidos de la acumulación de biomasa en tomate de invernadero, con relación a DDT.	40
Cuadro 12. Modelos matemáticos obtenidos de la acumulación de biomasa en tomate de invernadero, con relación a UCA.	40
Cuadro 13. Modelos matemáticos obtenidos de la acumulación de nitrógeno en tomate de invernadero, expresados en DDT.	44
Cuadro 14. Modelos matemáticos obtenidos de la acumulación de nitrógeno en tomate de invernadero, expresados en UCA.	44
Cuadro 15. Ecuaciones de regresión y fechas de muestreo de N-NO ₃ en pecíolos de tomate de invernadero y relación con el máximo rendimiento obtenido.	47

Cuadro 16. Rangos críticos de suficiencia obtenidos en extracto celular de pecíolo de tomate de invernadero.	52
Cuadro 17. Análisis químico del agua pozo: REB-1 del Campo Experimental Caborca..	63
Cuadro 18. Análisis de varianza de cuatro tratamientos nitrogenados y su efecto sobre el rendimiento total de tomate de invernadero.....	64
Cuadro 19. Análisis de varianza de cuatro tratamientos nitrogenados y su efecto sobre el rendimiento comercial de tomate de invernadero.....	64
Cuadro 20. Análisis de varianza de la variable sólidos solubles totales (°Brix) en tomate de invernadero, en cosecha efectuada el 6 de febrero del 2004.	64
Cuadro 21. Análisis de varianza de la variable sólidos solubles totales (°Brix) en tomate de invernadero, en cosecha efectuada el 11 de marzo del 2004.....	65
Cuadro 22. Análisis de varianza de la variable acidez titulable (% ácido cítrico) en tomate de invernadero, en cosecha realizada el 6 de febrero del 2004.	65
Cuadro 23. Análisis de varianza de la variable acidez titulable (% ácido cítrico) en tomate de invernadero, en cosecha realizada el 11 de marzo del 2004.....	65
Cuadro 24. Análisis de varianza de la variable relación sólidos solubles totales · acidez titulable ⁻¹ en tomate de invernadero, en cosecha realizada el 6 de febrero del 2004.....	66
Cuadro 25. Análisis de varianza de la variable relación sólidos solubles totales · acidez titulable ⁻¹ en tomate de invernadero, en cosecha realizada el 11 de marzo del 2004.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Relación entre la concentración de un nutrimento y su rendimiento relativo a determinada etapa de crecimiento.	10
Figura 2. Esquematación de la colocación de plántulas de tomate.	14
Figura 3. Detalle de aplicación de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades.	15
Figura 4. Distribución de los tratamientos y repeticiones.	16
Figura 5. Detalle del sistema de aplicación de los tratamientos.	17
Figura 6. Comportamiento de las temperaturas máximas, mínimas y medias encontradas dentro del invernadero durante el estudio.	23
Figura 7. Altura y número de hojas alcanzado por el tratamiento T3.	24
Figura 8. Tasa de crecimiento alcanzada por el tratamiento T3.	25
Figura 9. Velocidad crecimiento del área foliar en la hoja más recientemente madura a lo largo del experimento en el tratamiento T3.	25
Figura 10. Lámina de riego acumulada aplicada al cultivo de tomate de invernadero.	26
Figura 11. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre el rendimiento total del cultivo de tomate de invernadero “Beatrice”.	29
Figura 12. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre el rendimiento comercial del cultivo de tomate de invernadero “Beatrice”.	29
Figura 13. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre los sólidos solubles totales (°Brix) en dos épocas de cosecha en tomate de invernadero.	33
Figura 14. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la acidez titulable (% de ácido cítrico) en dos épocas de cosecha en tomate de invernadero.	35
Figura 15. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la relación sólidos solubles totales acidez titulable ⁻¹ en dos épocas de cosecha en tomate de invernadero.	36
Figura 16. Acumulación de biomasa total, fruta y follaje de tomate de invernadero expresada en gramos planta ⁻¹ en días después del transplante.	39
Figura 17. Acumulación de biomasa total, fruta y follaje de tomate de invernadero expresada en gramos planta ⁻¹ en unidades calor acumuladas.	39

Figura 18. Acumulación de nitrógeno en fruta, follaje y biomasa total en tomate de invernadero expresada en gramos nitrógeno planta ⁻¹	41
Figura 19. Acumulación de nitrógeno en fruta, follaje y biomasa total en tomate de invernadero expresada en gramos de nitrógeno planta ⁻¹	42
Figura 20. Tasa de absorción de nitrógeno en fruta, follaje y total en tomate de invernadero expresada en gramos nitrógeno planta ⁻¹ día ⁻¹	43
Figura 21. Acumulación de nitrógeno en fruta, follaje y total en tomate de invernadero expresada en gramos de nitrógeno planta ⁻¹ día ⁻¹	43
Figura 22. Variación en las concentraciones de N-NO ₃ en extracto celular de pecíolo en tomate de invernadero a lo largo del ciclo de crecimiento.	45
Figura 23. Relación entre la concentración de N-NO ₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 40 días después del trasplante.	47
Figura 24. Relación entre la concentración de N-NO ₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 54 días después del trasplante.	48
Figura 25. Relación entre la concentración de N-NO ₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 68 días después del trasplante.	48
Figura 26. Relación entre la concentración de N-NO ₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 82 días después del trasplante.	49
Figura 27. Relación entre la concentración de N-NO ₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 96 días después del trasplante.	49
Figura 28. Relación entre la concentración de N-NO ₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 110 días después del trasplante.	50
Figura 29. Relación entre la concentración de N-NO ₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 124 días después del trasplante	50
Figura 30. Relación entre la concentración de N-NO ₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 152 días después del trasplante.	51
Figura 31. Relación entre la concentración de N-NO ₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 168 días después del trasplante.	51

RESUMEN

Ante el excesivo aumento en los precios de los fertilizantes en la agricultura moderna y el efecto de su inmenso uso sobre la contaminación ambiental, hoy en día se hace más evidente la necesidad de aplicar estos nutrimentos de manera racional y adecuada, con el fin de obtener altos rendimientos, a la vez que se evitan daños a los ecosistemas.

Adicionalmente, la introducción de nuevas tecnologías al área agrícola, como los invernaderos, requiere de desarrollo de investigación propia de acuerdo a las condiciones ambientales donde los cultivos se desarrollen. La presente investigación generó información sobre el manejo de la nutrición y fertilización nitrogenada en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad Beatrice, crecido sobre suelo y bajo condiciones de invernadero.

Los objetivos fueron *a)* evaluar la respuesta del tomate a dosis crecientes de nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad de fruto *b)* identificar el patrón de absorción de nitrógeno a través de su ciclo de crecimiento y *c)* determinar rangos críticos de suficiencia para N-NO₃ en extracto celular de pecíolo (ECP).

La respuesta al rendimiento se expresó en Mg ha⁻¹ y se midió en cosecha comercial y total; la calidad se determinó de acuerdo al tamaño, acidez titulable (AT: % de ácido cítrico), sólidos solubles totales (SST: °Brix), e índice de madurez (SST/AT); estas tres variables en dos fechas consideradas como temprana y tardía: 6 de febrero y 11 de marzo, respectivamente; el patrón de absorción de nitrógeno se determinó en una parcela adicional al experimento realizando muestreos secuenciales de biomasa aérea, relacionados con la concentración de nitrógeno en tejido; la generación de rangos de suficiencia se estableció según el grado de correlación que existió entre la concentración de N-NO₃ en ECP y el

rendimiento relativo de acuerdo a las dosis de fertilización.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con cuatro repeticiones, donde los tratamientos fueron la aplicación de cuatro dosis de nitrógeno: T₁ (250), T₂ (500), T₃ (750) y T₄ (1000 kg ha⁻¹). La información obtenida, fue analizada utilizando el paquete estadístico SPSS.

Los resultados obtenidos en rendimientos mostraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados (Tukey, P<0.05); siendo los tratamientos T₂ y T₃ (500 y 750 kg de N ha⁻¹) los cuales mostraron los más altos rendimientos (comerciales y totales). La calidad de la fruta expresada por los parámetros SST, AT y SST/AT, no se afectó significativamente por los tratamientos aplicados. Sin embargo, durante el mes de febrero los valores de SST obtenidos en los cuatro tratamientos variaron de 3.17 a 3.65 ° Brix, muy diferente a la fecha de marzo en donde la fluctuación fue de 4.15 a 4.46 ° Brix. Para el caso de AT, no hubo diferencia de valores entre fechas y los resultados reflejaron menos variabilidad (0.28 a 0.35 % de ácido cítrico). Para SST/AT, los valores variaron en ambas fechas de 9.26 a 12.37.

El cultivo presentó una acumulación total de biomasa de 1,003.47 g planta⁻¹, distribuyéndose el 54.2% en los frutos y el 45.8% en el follaje. La máxima tasa de acumulación de biomasa total (follaje y fruto) expresada como g día⁻¹, se presentó a los 141 días después del transplante (DDT), correspondiendo el 34% para el follaje y el 66% para el fruto. El cultivo acumuló un total de 28.81 g de nitrógeno por planta, 53.81% lo distribuyó hacia la fruta y el resto (46.19%) al follaje, lo que representó una demanda de 594.20 Kg de N ha⁻¹, para un rendimiento de 92.85 Mg ha⁻¹. La máxima tasa de absorción de nitrógeno se presentó a los 141 DDT (1427 UCA), con una tasa de 0.35 g planta⁻¹.

Por otro lado, se obtuvieron buenas correlaciones entre el rendimiento comercial y las concentraciones de N-NO₃ en ECP a lo largo de la estación de crecimiento del cultivo, obteniendo coeficientes R² entre 0.77 a 0.99. Las concentraciones de N-NO₃ en ECP, mostraron importantes decrementos desde el inicio y a lo largo de la temporada de crecimiento del cultivo, variando las mismas desde 582 mg L⁻¹ de N-NO₃ al principio de la estación de crecimiento hasta 210 mg L⁻¹ al final del estudio.

ABSTRACT

Because the high costs of fertilizers in a modern agriculture, and their effect on the environmental pollution, today is evident the necessity to apply plants nutrients rationally and adequately, with the objective of get better yields in crops, and at the same time avoid damages at the ecosystem.

Additionally, with the introduction of technology in the agriculture, like the greenhouses and drip irrigation in open field, is evident and necessary to develop research in crops of course at the own conditions, where the crops are developed. The present research generated information on nitrogen nutrition in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Beatrice), growing in soil and under unheated greenhouse conditions.

The objectives were: a) to evaluate the response of the yield and quality of tomato on increasing doses of nitrogen fertilizer, b) to identify the seasonal pattern of N uptake and c) to determine critical ranges of sufficiency for N-NO₃ in cellular extract of petiole (CEP).

Response of the crop yield was expressed as Mg ha⁻¹ and was measured in a total and marketable yield. Tomato quality was determined considering the size, titratable acidity (TA: % citric acid), Total Soluble Solids (TSS: °Brix), and Maturity Index (TSS/TA); These variables were measured in February 6 and March 11, as a early and late times, respectively. Nitrogen uptake was determined in another plot with sequential samples of overgrown biomass related to the nitrogen concentration; the generation of the sufficiency ranges was established according the degree of correlation that existed among the concentrations of N-NO₃ in CEP and the relative yield according at the fertilization dose.

The experimental design was randomized block with four replications, where the independent variable was, the following dosage: T₁: 250, T₂: 500, T₃: 750 and T₄:1000 kg

ha⁻¹. Data results were managed at ANOVA with the SPSS program.

Yield results showed a significant differences among the evaluated treatments (Tukey $P < 0.05$), where treatments T₂ and T₃ (500 and 750 kg of N ha⁻¹) which showed the highest tomato yields (marketable and total). Tomato quality was measured as TA, TSS and TSS/TA, which were not affected by the treatments. However, during early February 11 the treatments showed values of TSS likes 3.17 at 3.65 °Brix, unlike late march 6, with 4.15 at 4.46 °Brix. According of AT, less differences among dates was presented (0.28 and 0.36 % citric acid, average in early February 6 and late March 11, respectively) and for maturity index, the values resulting between 9.26 a 12.37 for both dates, with not significantly differences.

The total dry matter in the crop was in order of 1003.47 g plant⁻¹, partitioned 54.2% in the fruit and 45.81% in the foliage. The maximum flux of dry matter accumulation expressed in g plant⁻¹ day⁻¹, was presented at 141 DAT, with the 34% to the foliage and 66% for the fruit. The crop accumulated a total of 28.81 g of nitrogen plant⁻¹; 53.81% distributed toward the fruit and 46.19% at the foliage. This represented a demand of 594.20 kg of N ha⁻¹, to express a yield of 92.85 Mg ha⁻¹. The maximum flux of nitrogen absorption was present at 141 DAT (1427 UCA), with a flux of 0.35 g plant⁻¹.

On the other hand, the crop presented good correlation among the N-NO₃ concentration in extract cellular of petiole and the relative yield. The N-NO₃ concentrations in CEP showed important decrements since the transplant and during the season crop growth, varied the concentrations between 582 mg L⁻¹ of N-NO₃ at the beginning of the season growth, at 210 mg L⁻¹ at the end of this study.

INTRODUCCIÓN

La tendencia de la “Agricultura Moderna” es la tecnificación del campo, la cual comprende la incorporación de sistemas de riego presurizado a cielo abierto, así como la instalación de estructuras de producción altamente sofisticadas como lo son los invernaderos. Éstos últimos, cumplen con la ventaja de alcanzar producciones agrícolas fuera de temporadas en comparación con aquellas obtenidas bajo condiciones a cielo abierto; además con ellos se aumentan los rendimientos de producción por unidad de superficie y se hace uso eficiente de los recursos como el agua y la utilización de insumos tales como los fertilizantes aplicados. Sin embargo, para alcanzar las ventajas anteriormente planteadas, es necesario contar con técnicas adecuadas sobre el manejo de la fertilización y nutrición vegetal para cada cultivo en producción. Estas tecnologías se desarrollan de acuerdo a cada tipo de clima, variedad y condiciones de suelo o sustrato empleado, e incluyen el conocimiento de la respuesta del cultivo a determinada dosis de fertilización, la demanda nutrimental del cultivo por etapas fenológicas, así como el seguimiento de la nutrición nitrogenada originalmente planteada, a través del monitoreo constante en extracto celular de pecíolo (ECP).

En la región de Caborca Sonora, la agricultura en su totalidad es de riego (bombeo), y durante los últimos diez años se ha visto afectada por el abatimiento de los mantos acuíferos. Los productores de esta región han visto como alternativa la implementación de estructuras con tecnología como lo son los invernaderos, a fin de aprovechar todas sus ventajas, específicamente el ahorro de agua, entre ellas.

El cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero representa una opción importante de considerar, ya que los rendimientos y la calidad obtenida es muy superior a

la alcanzada bajo condiciones de cielo abierto, y por ende los precios alcanzados para su comercialización son muy superiores. No obstante, desarrollar cualquier cultivo con este tipo de tecnologías, demanda el conocimiento básico del manejo nutrimental, condición esencial para aumentar los rendimientos y la rentabilidad de los mismos y desde luego, para hacer un uso más eficiente del agua.

El objetivo general del presente trabajo de investigación fue desarrollar un programa sobre fertilización nitrogenada del cultivo de tomate crecido sobre suelo bajo condiciones de invernadero; éste comprendió la evaluación de cuatro dosis de fertilización nitrogenada sobre su rendimiento y calidad; incluyó la identificación del patrón de absorción de nitrógeno a lo largo de la estación de crecimiento, además de la determinación de rangos de suficiencia para $N-NO_3$ en extracto celular de pecíolo a lo largo de la estación de crecimiento.

Los objetivos particulares de esta investigación fueron:

- a) Evaluar la respuesta del tomate a dosis crecientes de nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad de fruto.
- b) Identificar el patrón de absorción nutrimental a través de su ciclo de crecimiento
- c) Determinar rangos críticos de suficiencia para $N-NO_3$ en extracto celular de pecíolo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades.

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es un cultivo de alto valor comercial y de enorme importancia mundial. Además de aceptación general del fruto en la alimentación, su utilización es muy variada ya que además de sus cualidades organolépticas, posee un alto valor nutricional, comparado con otros vegetales. A su vez, los frutos del tomate presentan la ventaja de que son menos perecederos y más resistentes a daños ocasionados por el transporte (Cadahia, 1998).

Dentro de este contexto, el papel de la fertilización y nutrición adecuada del cultivo, es un factor importante de considerar (Bar-Yosef y Sagiv, 1982), ya que con ello se obtienen altos rendimientos tanto por unidad de superficie como por unidad de recurso aplicado (Beck, 1997); por otro lado, Papadopoulos (1996) menciona que un aumento en la fertilización sin el correspondiente beneficio en rendimiento es un recurso desperdiciado.

Origen.

El origen del género *Lycopersicon* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia hasta el norte de Chile, sin embargo fue en México donde éste se domesticó. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos, que ya habían sido llevados a Europa y servían como alimento en España e Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de nuevo a América en países como Estados Unidos y Canadá (Nuez, 1995; Jones, 1998).

Clasificación taxonómica.

El cultivo de tomate bajo invernadero, requiere mucho manejo, por ello es muy importante conocer su morfología (Muñoz y Castellanos, 2003). El tomate pertenece a la familia *Solanaceae*, genero *Lycopersicon* y especie *esculentum*.

Planta: es perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semi-erecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas).

Sistema radicular: consta de raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias. Seccionando transversalmente la raíz principal y de fuera hacia dentro encontramos: epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes, cortex y cilindro central, donde se sitúa el xilema (conjunto de vasos especializados en el transporte de los nutrientes) (Nuez, 1995; Jones, 1998).

Tallo principal: formado por un eje con un grosor que oscila entre 2 y 4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. Su estructura, de fuera hacia dentro, consta de: epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o cortex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales.

Hoja: es compuesta e imparipinnada, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. El mesófilo o tejido parenquimático está recubierto por una

epidermis superior e inferior, ambas sin cloroplastos. La epidermis inferior presenta un alto número de estomas. Dentro del parénquima, la zona superior o zona en empalizada, es rica en cloroplastos. Los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés, y constan de un nervio principal (Nuez, 1995).

Flor: es perfecta, regular e hipógina y consta de 5 ó más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal, de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo dicasio, generalmente en número de 3 a 10; es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada, dando lugar a una inflorescencia compuesta, de forma que se han descrito algunas con más de 300 flores.

La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. La flor se une al eje floral por medio de un pedicelo articulado que contiene la zona de abscisión, que se distingue por un engrosamiento con un pequeño surco originado por una reducción del espesor del cortex. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas.

Fruto: es una baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpo, el tejido placentario y las semillas. El fruto puede recolectarse separándolo por la zona de abscisión del pedicelo, como ocurre en las variedades industriales, en las que es indeseable la presencia de parte del pecíolo, o bien puede separarse por la zona peduncular de unión al fruto.

Requerimientos edafo-climáticos.

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para

el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación de uno de estos incide sobre el resto (Jones, 1998).

Temperatura: La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30 °C durante el día y entre 12 y 17 °C durante la noche; temperaturas superiores a los 30 o 35 °C afectan la fructificación, por mal desarrollo de óvulos de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12 o 15 °C también originan problemas en el desarrollo de la planta. Si las temperaturas son superiores a 25 °C ó inferiores a 12 °C la fecundación es defectuosa o nula.

La maduración del fruto está muy influenciada por la temperatura, esto tanto a su precocidad como a la coloración, de forma que valores menores a los 10 °C así como superiores a los 30 °C originan tonalidades amarillentas. No obstante, los valores de temperatura descritos son meramente indicativos, debiendo tener en cuenta las interacciones de la temperatura con el resto de los parámetros climáticos.

Humedad: la humedad relativa del ambiente óptima para el buen desarrollo del cultivo, oscila entre un 60 y 80%. Humedad relativa muy elevada, favorece el desarrollo de enfermedades aéreas, agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor (Muñoz y Castellanos, 2003).

Luminosidad: valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración y la fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la

interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad (Jones, 1998).

Suelo: la planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura franco-arcillosa y ricos en materia orgánica, no obstante se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos mezclados con arena, materia orgánica y grava (enarenados). En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad, tanto del suelo como del agua de riego (Jones, 1998).

Fertilización carbónica: la aportación de CO₂ permite compensar el consumo de las plantas y garantiza el mantenimiento de una concentración superior a la media en la atmósfera del invernadero, así la fotosíntesis se estimula y se acelera el crecimiento de las plantas.

Para valorar las necesidades de CO₂ de los cultivos en invernadero se requiere realizar, en los diversos periodos del año, un balance de las pérdidas derivadas de la absorción por parte de las plantas, de las renovaciones de aire hechas en el invernadero y las aportaciones proporcionadas por el suelo a la atmósfera del mismo. Del enriquecimiento en CO₂ del invernadero depende la calidad, la productividad y la precocidad de los cultivos. Hay que tener presente que un exceso de CO₂ produce daños debidos al cierre de los estomas, que cesan la fotosíntesis y pueden originar quemaduras.

Los aparatos más utilizados en la fertilización carbónica son los quemadores de gas propano y los de distribución de CO₂ (Nuez, 1995).

En el cultivo del tomate las cantidades óptimas de CO₂ son de 700-800 ppm. En cuanto a los rendimientos netos se tienen incrementos del 15-25% en función del tipo de invernadero y el sistema de control climático, entre otros.

Fertilización del cultivo de tomate.

Existen diversas formas de aplicación de nutrimentos al cultivo de tomate, entre los que destacan la utilización de soluciones nutritivas completas aplicadas durante toda la etapa de crecimiento del cultivo (Kläring, 2001) y la aplicación de cantidades frecuentes de nutrientes de acuerdo a la demanda del cultivo establecida en forma previa (Imas, 1999; Castellanos, 1997). En este sentido bajo cultivos manejados sobre sustrato de suelo o arenado, la segunda técnica de aplicación es más recomendable, ya que se utiliza al suelo como almacén de nutrientes, al tiempo que le provee sostén a la planta (Etchevers, 1997), así mismo, las necesidades de la planta cambian junto con su desarrollo y crecimiento (Beck, 1997).

Castellanos (1997) menciona la importancia de la utilización de las curvas de acumulación nutrimental en cultivos hortícolas con el fin de planear los programas de fertirrigación. Méndez (1995) enfatiza que deben de ser determinadas específicamente para cada región, ya que los cultivos difieren grandemente en sus requerimientos, así como en sus patrones de acumulación a través de su ciclo de crecimiento.

Muchos trabajos mencionan cantidades muy variadas de fertilizantes para nutrir el cultivo de tomate. Algunos se basan en la cantidad de nutrimentos absorbidos al final del ciclo para producir cierto rendimiento (Imas, 1999), otros a su vez toman en cuenta el grado de abastecimiento nutrimentos del suelo y su contribución a la producción (Jones, 1998). Sin embargo, lo cierto es que para cualquier cultivo se requiere desarrollar estudios de

acuerdo a cada condición edafo-climática de desarrollo del cultivo en cuestión (Sánchez y Doerge, 2000).

Monitoreo nutrimental del cultivo.

El éxito en la nutrición de los cultivos radica en asegurarse de que ninguno de los elementos esenciales para el crecimiento de la planta, sea un factor limitativo y éstas alcancen rendimientos cercanos a los máximos que se pueden obtener en un ambiente determinado (Etchevers, 1997). Lo que se logra implementando un programa adecuado de fertilización y un eficiente suplemento de agua (Hartz *et al.*, 1994a).

Hoy en día, existen técnicas rápidas de diagnóstico nutrimental como el análisis de Extracto Celular de Pecíolo (ECP), que ha correlacionado bien con el análisis tradicional de tejido seco (Rosen *et al.*, 1996), así como con los rendimientos (Coltman, 1988a; Coltman y Riede, 1992; Coltman 1987b). Hartz *et al.* (1994b) encontraron altos coeficientes de correlación al comparar tejido seco con ECP en cultivos como tomate, ($R^2=0.83$); lechuga ($R^2=0.77$); chile bell ($R^2=0.89$) y brócoli ($R^2=0.84$). Dilon *et al.* (1999) argumentan que en California, Estados Unidos, estas técnicas se han empleado exitosamente para ajustar las dosis de fertilización en los cultivos y mantener los rendimientos.

La hipótesis en la utilización de estas técnicas como diagnósticos nutrimentales, radica en que las plantas absorben los elementos en forma iónica y los acumulan para luego incorporarlos en moléculas que constituyen al células, tejidos y órganos; la velocidad de penetración de iones y su tasa de transformación en la planta determinan el desarrollo de la misma. Lo que no es transformado, esta bien demostrado que se acumula como reserva iónica y se relaciona con índices de rendimiento (Etchevers, 1997 y Etchevers, 1999).

Según Campbell (2000), la figura 1 muestra la relación obtenida entre la

concentración de un elemento en determinado órgano de la planta, para cierto estado de crecimiento, con su rendimiento.

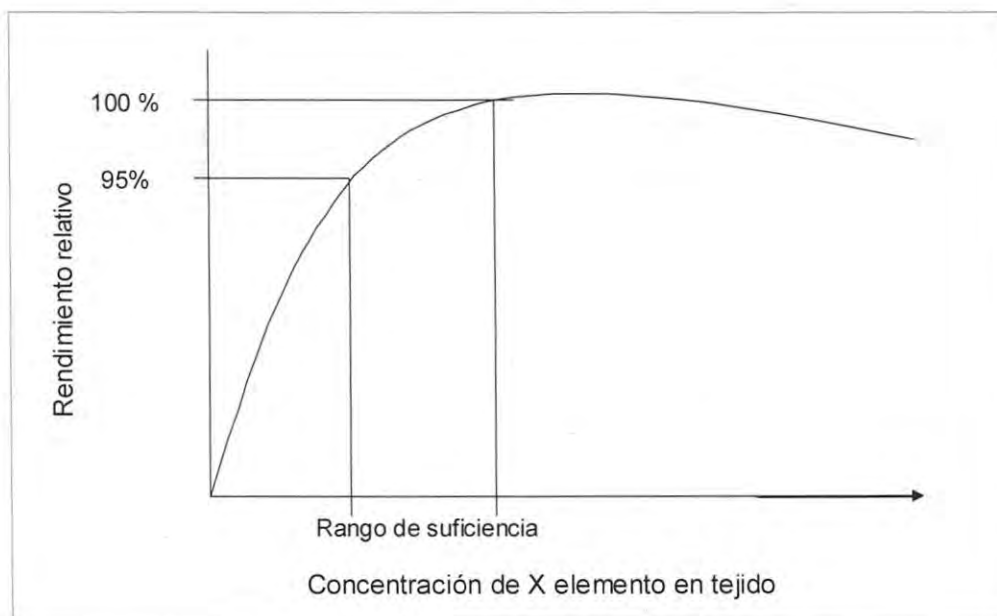


Figura 1. Relación entre la concentración de un nutriente y su rendimiento relativo a determinada etapa de crecimiento.

En el caso de tomate cultivado bajo condiciones de invernadero, se han realizado algunas investigaciones para desarrollar y emplear estas técnicas en nutrientes como nitrógeno y potasio (Coltman y Riede, 1992; Coltman, 1988; Hochmuth, 1994a y 1994b). El Cuadro 1, muestra algunos datos ilustrativos, sobre rangos de suficiencia para evaluar el estado de la nutrición nitrogenada y potásica, y su relación con el rendimiento. Para el caso de la región de Florida, en Estados Unidos, las cantidades varían a lo largo de la estación de crecimiento, comenzando con altas concentraciones las cuales van de 1,000 a 2,000 mg kg⁻¹ de N-NO₃ al momento del transplante y finalizando con 700 a 900 mg kg⁻¹ al momento de la cosecha. Para el caso de Hawaii, las concentraciones de N-NO₃ se mantienen constantes durante todo el ciclo de crecimiento, fluctuando entre los 1,105 a 1,200 mg kg⁻¹ de N-NO₃, de ahí la importancia de generar estos datos para cada situación en particular.

Cuadro 1. Rangos de suficiencia en extracto celular de pecíolo de tomate de invernadero.

Etapa de crecimiento	N-NO ₃ (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Referencia
Transplante a segundo racimo	1,000-2,000	4,500-5,000	Hochmuth, 1994a y b.
Segundo a quinto racimo	800-1,000	4,000-5,000	Hochmuth, 1994a y b.
Cosecha (diciembre a junio)	700-900	3,500-4,000	Hochmuth, 1994a y b.
Durante todo el ciclo	1,105-1,200 ^z	5,700-6,100 ^y	^z Coltman, 1988; ^y Coltman y Riede 1992
Transplante hasta los 45 días	500-800	3,000-4,000	Muñoz y Castellanos 2003
Cosecha	400-800	3,500-5,000	Muñoz y Castellanos 2003

MATERIAL Y MÉTODOS

Condiciones generales del estudio.

Ubicación. El presente trabajo se realizó bajo condiciones de invernadero y sobre suelo, en el Campo Experimental Caborca, en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el Km 18 de la Carretera Caborca al Desemboque, en el Municipio de H. Caborca, Sonora, México. El punto geográfico del área de ubicación del invernadero, forma parte de la llanura Sonorense del Desierto de Altar, con climas seco o desértico, semi-árido, con inviernos frescos (BMW [x'] [e'']), a una altitud media de 200 msnm. La duración del estudio fue del 4 de octubre del 2003 al 28 de abril del 2004.

Características del suelo. La textura del suelo correspondió a una franco-arenosa, con una conductividad eléctrica de 1.22 dS m^{-1} , pH ligeramente alcalino de 7.96, con un contenido de materia orgánica de 0.2 % y con una capacidad de intercambio catiónico muy baja de $14.62 \text{ cmol kg}^{-1}$ (Castellanos *et al.*, 2000).

Características del agua de riego. El análisis químico del agua, mostró una conductividad eléctrica de 811.8 dS/m , y pH ligeramente alcalino de 7.74, con altos contenidos de calcio, magnesio y sodio (65.9 , 16.4 y 75.6 mg l^{-1} , respectivamente). El resto de los componentes del agua de riego, se muestran en el cuadro 24.

Preparación del suelo. La preparación de suelo consistió en la realización de un escarde profundo. Se levantaron camas a una altura de 0.25 m separadas entre centro y centro, a una distancia de 1.60 m. Se colocó una cintilla sub-superficial para riego (0.05 m de profundidad) con goteros separados a 0.40 m y con un gasto de 4.0 l hr^{-1} por metro lineal.

Se instaló una cintilla adicional de manera superficial, para situar un sistema de fertirriego especial para experimentación, el cual se explica en la sección de diseño experimental. Después de ésta se colocó un acolchado plástico bicolor (blanco y negro), sellado, el cual se perforó para lograr la densidad de población adecuada con la parte negra hacia el interior y la blanco hacia el exterior.

Tipo de invernadero. El invernadero utilizado estaba cubierto con material plástico, sin control de temperatura (calefacción) con una superficie total de 1,440 m², con ventilación cenital automática y lateral manual.

Características de la planta. La variedad de tomate que se utilizó fue “Beatrice”, de Zeraim Gedera[®], la cual es considerada una planta vigorosa, con entrenudos cortos, ciclo de producción mediano a tardío, resistente a *verticillium*, *fusarium* 1 y 2, y al Virus del Mosaico del Tabaco. En ensayos anteriores esta variedad, presentó altos rendimientos y buena adaptabilidad a las condiciones ambientales predominantes en la región de Caborca, Sonora (Grijalva y Contreras, 2003).

La semilla se envió para su germinación a invernaderos ubicados en San Ignacio en la Región de Magdalena Sonora, el día 10 de septiembre del 2003. Las semillas germinaron en charolas de poliuretano con 250 cavidades de 5.0 cm de profundidad y 2.4 x 2.4 cm de largo y ancho, respectivamente. Se rellenaron las cavidades con Peat Moss y Vermiculita, colocándose una semilla por cavidad.

Experimento I: Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de tomate.

Transplante y arreglo topológico del cultivo. El transplante de plántula se realizó el 4 de octubre del 2003; un día antes, se aplicó un riego de una lámina de 0.1 m para llevar el

suelo a capacidad de campo y facilitar esta labor. La superficie total del experimento fue de 89.6 m², la cual se dividió en cuatro camas de siembra, cada una de 22.4 m² (14.0 m de largo x 1.6 m de ancho), orientadas de norte a sur. Cada cama se subdividió en cuatro partes para obtener un total de 16 parcelas experimentales. Las plántulas se colocaron a doble hilera en forma alternada, a una distancia de 0.33 m entre ellas a lo ancho y 0.35 a lo largo (Figura 2), para lograr una densidad de población de 37,500 plantas ha⁻¹.

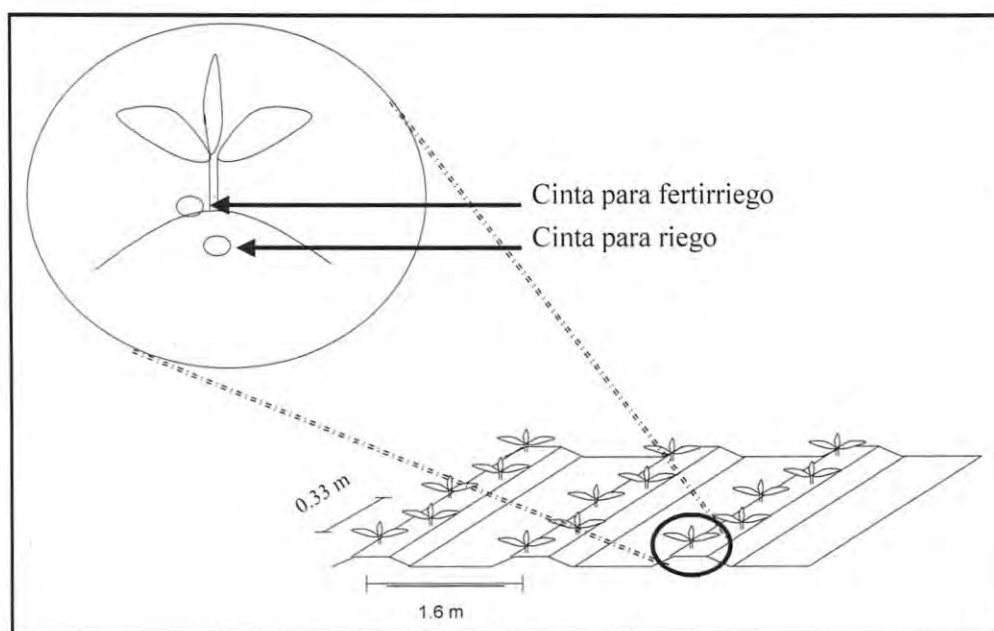


Figura 2. Esquematación de la colocación de plántulas de tomate.

Conducción y podas del cultivo. Por ser un cultivar de crecimiento indeterminado, se procedió a conducirlo a un solo tallo sujetándolo mediante anillos de fabricación industrial a una rafia proveniente de la parte superior del invernadero a una altura de 3.1 m para mantenerlo en esa posición hasta el fin del experimento, bajando la planta cada que sobrepasó esa altura.

Treinta y tres días después del transplante (DDT), se comenzó a remover todo brote secundario que sobrevino y para impedir la conducción vertical de las plantas; así como

toda hoja que quedó debajo del primer racimo listo para corte. El raleo de racimos se efectuó después de que la flor hubo amarrado el fruto, dejando de cuatro a cinco frutos por racimo.

Control de plagas y enfermedades. Para el control de plagas como mosquita blanca (*Bemisia spp*) se realizaron a través del sistema de riego, siete aplicaciones de Thiamethoxan a dosis de 62.5 g de i.a. ha⁻¹; para gusano soldado (*Spodoptera spp.*) se realizaron seis aplicaciones foliares de Bactospeine (*Bacillus thuringensis*) en dosis de 4.03 g de i.a. 100 L⁻¹ agua, y para el control de mimador de la hoja (*Liriomyza spp.*) se realizaron seis aplicaciones de Abamectina a dosis de 0.9 ml de i.a. 100 L⁻¹ agua. De la misma forma, para prevenir enfermedades, se realizaron dos aplicaciones de Trifloxistrobin a dosis de 25.0 g de i.a. 100 L⁻¹ agua, cuatro de Matalaxil-M a dosis de 100 g i.a. 100 L⁻¹ agua y cuatro de Estreptomicina a dosis de 20 g de i.a. 100 L⁻¹ agua (Figura 3).



Figura 3. Detalle de aplicación de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades.

Logística del experimento. Los tratamientos evaluados fueron cuatro dosis crecientes de nitrógeno: 250, 500, 750, 1000 kg N ha⁻¹ (T₁, T₂, T₃ y T₄ respectivamente). Éstas dosis fueron escogidas de acuerdo a la extracción prevista por producto cosechado (Castellanos *et al.*, 2000) y considerando la dosis mayor con el fin de encontrar una curva descendiente en la producción del cultivo.

Estos tratamientos se distribuyeron bajo un diseño de bloques al azar considerándose cada cama como bloque, la cual a su vez, se dividió en cuatro parcelas de 3.5 m de largo, tomando como unidad experimental seis plantas ubicadas al centro cada una de las éstas (Figura 4).

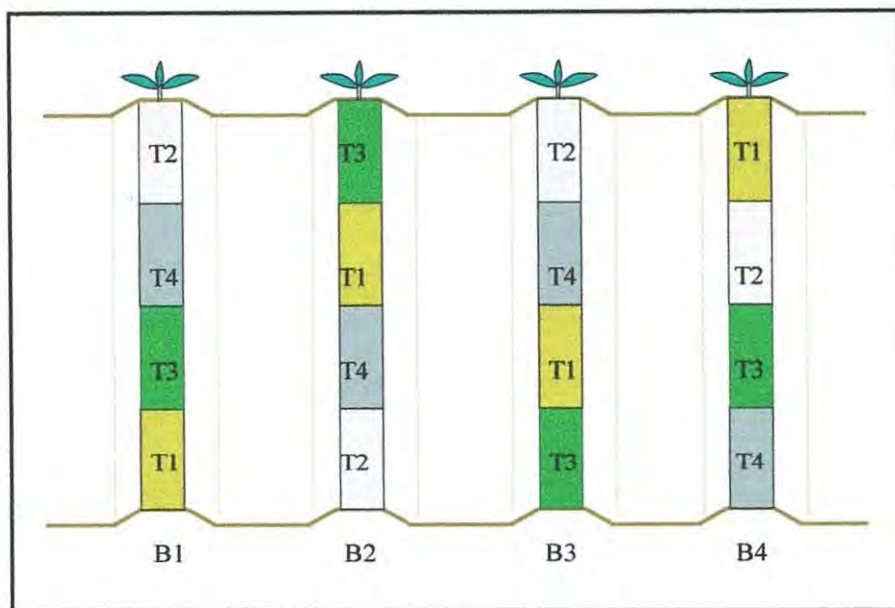


Figura 4. Distribución de los tratamientos y repeticiones.

Para la aplicación de cada tratamiento se fabricó un sistema de inyección, consistente en un depósito para solución fertilizante, una motobomba y un tubo principal dividido a su vez en cuatro, con su respectiva válvula, uno por cada tratamiento (Figura 5). A cada uno de los cuatro tubos se le conectó a una saliente por bloque hacia el lugar donde quedó

ubicada cada parcela. La aplicación de los tratamientos a lo largo del ciclo de crecimiento, se realizó de acuerdo a la propuesta de Berenguer (2003); transpolando los valores recomendados a las dosis evaluadas en este estudio.

Fuentes de fertilizante. Se utilizaron materiales de alta solubilidad (Haifa Chemicals®), tales como nitrato de amonio (33.5-00-00), sulfato de potasio (00-00-52), fosfato monopotásico (00-52-34), nitrato de calcio (15.5-00-00-26) y nitrato de magnesio (11-00-00-16). Las dosis usadas fueron fijas para potasio, fósforo, calcio y magnesio siendo: 800, 300, 100 y 100 Kg ha⁻¹, respectivamente.



Figura 5. Detalle del sistema de aplicación de los tratamientos.

Medición de temperaturas. Se registraron las temperaturas máximas, mínimas y medias ocurridas durante el experimento, a través de un termómetro de máximas y mínimas, con el fin de conocer la dinámica y comportamiento de las mismas, durante el tiempo que duró el experimento. Esto con el fin de identificar cualquier cambio en el desarrollo y crecimiento

del cultivo afectado por esta variable.

Fenología del cultivo. Con el fin de estimar las variables fenológicas del cultivo durante el experimento, se realizaron mediciones desde el transplante y cada siete días, a cinco plantas del bloque II y a cinco del bloque III (ambas del T₃). Estas mediciones consistieron en: altura expresada en cm, número de hojas, y una estimación del área de la hoja más recientemente madura utilizando un método “no destructivo”, según lo expresa Schwarz y Kläring, (2001) en la siguiente formula:

$$A_{foliar} = 0.362 L_s^{2.490}$$

Donde A_{foliar} significa área foliar; 0.362 es un factor de ajuste acorrección; L_s significa largo de la hoja elevada al exponente 2.490. El promedio de los datos de estas diez plantas se plasmó en una gráfica, a través del tiempo en que duró el experimento.

Determinación del rendimiento y calidad. Los rendimientos se determinaron en frutos a madurez fisiológica (comúnmente llamado rosado), en cinco plantas del centro de las parcelas experimentales y se expresaron en Mg ha⁻¹. El rendimiento comercial fue considerado como aquel que mantenía frutos sanos y de características deseables con tamaños referentes a los del cuadro 2, mientras que el rendimiento total incluyó los frutos comerciales, malformados, con defectos de pudrición apical o con daño por insectos.

Cuadro 2. Determinación del tamaño del tomate de acuerdo a su diámetro ecuatorial.

Tamaño	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Chico	54	58
Mediano	59	64
Grande	65	73
Extra grande	74	88

La calidad se expresó en cuatro tamaños, de acuerdo a lo propuesto por Jones (1998) además, en dos épocas de cosecha, consideradas como temprana y tardía (6 de febrero y 11 de marzo, respectivamente), se determinaron los siguientes parámetros: sólidos solubles totales en jugo de fruta (SST;%), obtenidos con refractómetro digital modelo ABBE-3L Bausch & Lomb; acidez titulable (AT) expresada como % de ácido cítrico, cuantificada neutralizando 20 ml de jugo de tomate con NaOH 0.1 N, para lo cual se utilizó fenolftaleína como indicadora. Adicionalmente, se determinó el índice de madurez en forma adimensional, mediante el cálculo de relación de SST/AT.

A los parámetros de rendimiento total, comercial, SST, AT y SST/AT, se les analizó utilizando la técnica de análisis de varianza (ANDEVA) usando el programa SPSS 10.0 para Windows (Statistical Package for the Social Science). Se realizaron pruebas de comparación de pares de medias en los casos en que el ANDEVA fue significativo, utilizando la prueba de Tukey.

Experimento II: Determinación del patrón de absorción de nitrógeno.

El patrón de absorción de nitrógeno se determinó en una parcela adicional, adyacente al experimento I (nitrógeno *versus* rendimiento) ubicada a la orilla del invernadero. Las plantas estaban transplantadas a una sola hilera y separadas a 0.33 m, situadas sobre una cama de 1.60 m de ancho y 14.0 m de longitud.

Esta parcela fue fertilizada con una solución nutritiva no restringida, consistente en 800, 300, 900, 100 y 100 Kg ha⁻¹ de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio respectivamente. La aplicación de las dosis se realizó cada dos días, considerando la misma propuesta de Berenguer (2003). La conducción y manejo fue igual que la del experimento nitrógeno *versus* rendimiento y calidad.

Muestras de tejido. Un día después del trasplante y cada 20 días después, se realizaron cosechas secuenciales de biomasa de tres plantas (parte aérea). Este material se secó en una estufa a aire forzado por 72 horas. Posteriormente las muestras se pesaron individualmente y se molieron para someterlos a análisis químicos de acuerdo a la metodología propuesta por Alcántar y Sandoval (1999). La relación entre el peso seco obtenido y los contenidos de nitrógeno, permitieron obtener el patrón de absorción de nitrógeno.

Los datos de materia seca (MS) y nitrógeno (N) se graficaron y expresaron como acumulación y flujo de MS en DDT y unidades calor acumuladas (UCA; Temperatura base 10°C) según Wolf *et al.* (1986).

Rendimiento y calidad. La determinación del rendimiento y calidad se llevó a cabo en diez plantas escogidas al azar en la cama de plantación. Se siguieron los mismos criterios de medición que aquellos del experimento de nitrógeno versus rendimiento, a excepción de la calidad, la cual solo se cuantificó en tamaños.

Experimento III: Determinación de rangos de suficiencia de NO₃-N en Extracto Celular de Pecíolo.

Este estudio se realizó en los tratamientos del experimento nitrógeno *versus* rendimiento.

Muestras. Para cada uno de los tratamientos, se realizaron muestreos de la hoja más recientemente madura (HMRM, Castellanos *et al.*, 2000) a los 40, 54, 68, 82, 96, 110, 124, 152 y 168, DDT.

Cada muestra incluyó cuatro hojas a las cuales se les desprendieron los folíolos, el pecíolo resultante se partió en trozos de 1.0 cm aproximadamente (Muñoz y Castellanos, 2003). Éstos se guardaron en frascos esterilizados y etiquetados (fecha, parcela y

tratamiento) y se mantuvieron en congelación para un análisis . Los muestreos se realizaron en horario de 8:00 a 10:00 a.m. para evitar variaciones en el contenido de nitratos a lo largo del día, según Hochmout *et al.* (1994a) y Coltman (1987a).

Análisis químico. Al final del experimento, las muestras se descogelaron a temperatura ambiental (20-25 °C) y mediante prensa manual, se les extrajo el líquido citoplasmático para posteriormente analizarlo utilizando un medidor portátil de iones (Cardy Nitrate Meter-HORIBA, Inc[®]).

Determinación de los rangos de suficiencia. Para la determinación de los rangos de suficiencia nutrimental, se tomaron los resultados de las concentraciones de N-NO₃ de cada tratamiento y se promediaron de acuerdo a Holland (1983), se graficaron *versus* rendimiento relativo y se generaron las ecuaciones cuadráticas que mejor se ajustaron; se identificó como rango de suficiencia a los valores encontrados entre el 95 y 100% del valor máximo encontrado en rendimiento, de acuerdo a la propuesta de Dow y Roberts (1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generalidades.

El crecimiento vegetal es extremadamente sensible a la temperatura y cada especie o variedad posee, en cualquier estado determinado de su ciclo de vida y en cualquier conjunto determinado de condiciones de estudio, una temperatura mínima debajo de la cual no crece, una temperatura óptima en la que crece a una tasa máxima y una temperatura máxima a la cual no crecerá (Salisbury y Ross, 1994).

Las condiciones generales de temperatura ocurridas durante el estudio, dentro del invernadero, son presentadas en forma parcial en la figura 6; en ellas se aprecia el comportamiento de las temperaturas máximas, mínimas y medias ocurridas desde los 33 a los 190 DDT.

Al respecto, Jones (1998) indica que el cultivo de tomate se desarrolla dentro de un rango de temperaturas entre 10 y 35 °C y que temperaturas inferiores a este rango, inhiben su desarrollo vegetativo, reducen el amarre y no permiten una maduración uniforme de los frutos; señala también, que temperaturas superiores, reducen el amarre del fruto e inhiben el desarrollo normal del color de las frutas. Por otro lado Ho (1995) hace referencia a que altibajos en temperaturas, repercuten en un desbalance entre el comportamiento vegetativo y generativo que toma la planta, pues los cambios bruscos de temperaturas afectan los rendimientos.

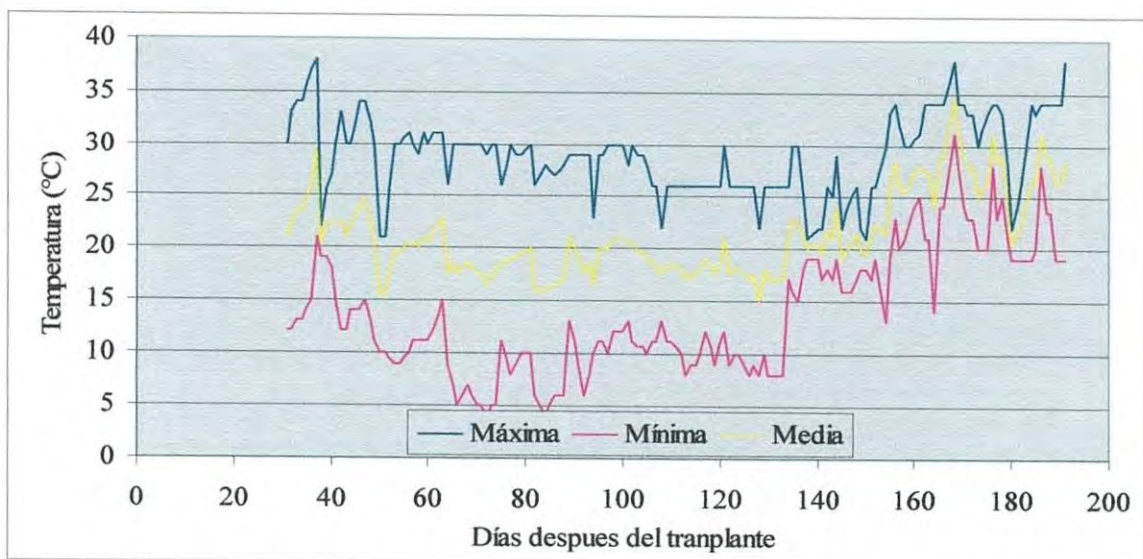


Figura 6. Comportamiento de las temperaturas máximas, mínimas y medias encontradas dentro del invernadero durante el estudio.

Experimento I.

Fenología del cultivo. Una forma de conocer el comportamiento de un cultivo bajo determinadas condiciones ambientales y de manejo, es midiendo su tasa de crecimiento en relación al tiempo, y ésta se puede expresar como altura, número de hojas, área foliar (Schwartz y Klaning, 2001), estado fenológico, etc. (Thompson *et al.*, 2000a; Scholberg *et al.*, 2001a).

Para el caso de este experimento, la máxima altura y número de hojas, alcanzado a los 177 DDT fue de 3.25 m y de 55 hojas respectivamente (Figura 7). Pertierra *et al.* (2000) en un estudio cultivando tomate en Chile, bajo dos regimenes hídricos alcanzaron una altura de 1.53 m para una producción promedio de 5 kg planta⁻¹.

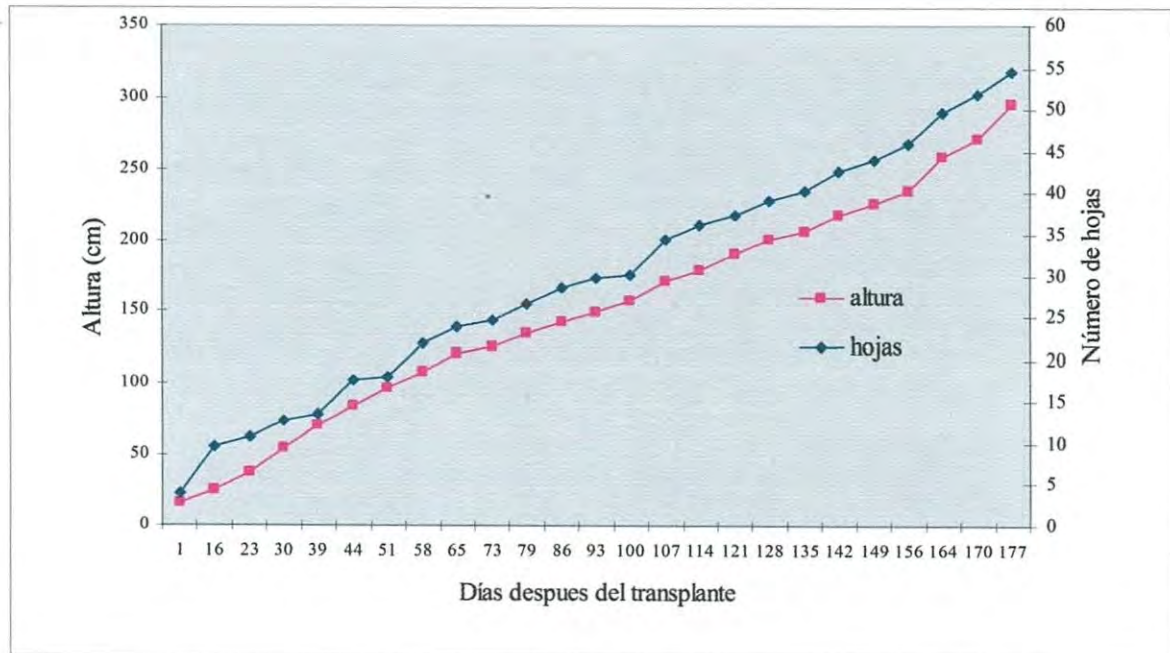


Figura 7. Altura y número de hojas alcanzado por el tratamiento T3.

La mayor tasa de crecimiento fue de alrededor de $24 \text{ cm semana}^{-1}$ y se logró a los 163 DDT (Figura 8), periodo durante el cual las temperaturas máximas y mínimas se mantuvieron muy cercanas, y cayeron dentro del rango de crecimiento denominado óptimo para este cultivo (Jones, 1998); en este periodo la planta expresó mayor velocidad de crecimiento (Salisbury y Ross, 1994).

Para el caso de la velocidad de crecimiento expresado como área de la hoja más recientemente madura (HMRM), se encontraron los mayores valores entre los 23 y los 78 DDT (Figura 9). Concordando éste lapso de tiempo con la mayor parte del “primer periodo de temperaturas” encontrado en este estudio y que para estas fechas, no había aún llenado de frutos. En esta etapa, el cultivo se encontraba en fase “vegetativa”, lo que significa que crece rápidamente, sin producción de fruta (Papadopoulos, 1991).

Schwartz y Klaning (2001) no encontraron diferencias significativas en el área de las

hojas de tomate, al realizar un estudio en el que combinaron genotipos, altos niveles de salinidad, sistemas de crecimiento y soluciones nutritivas.

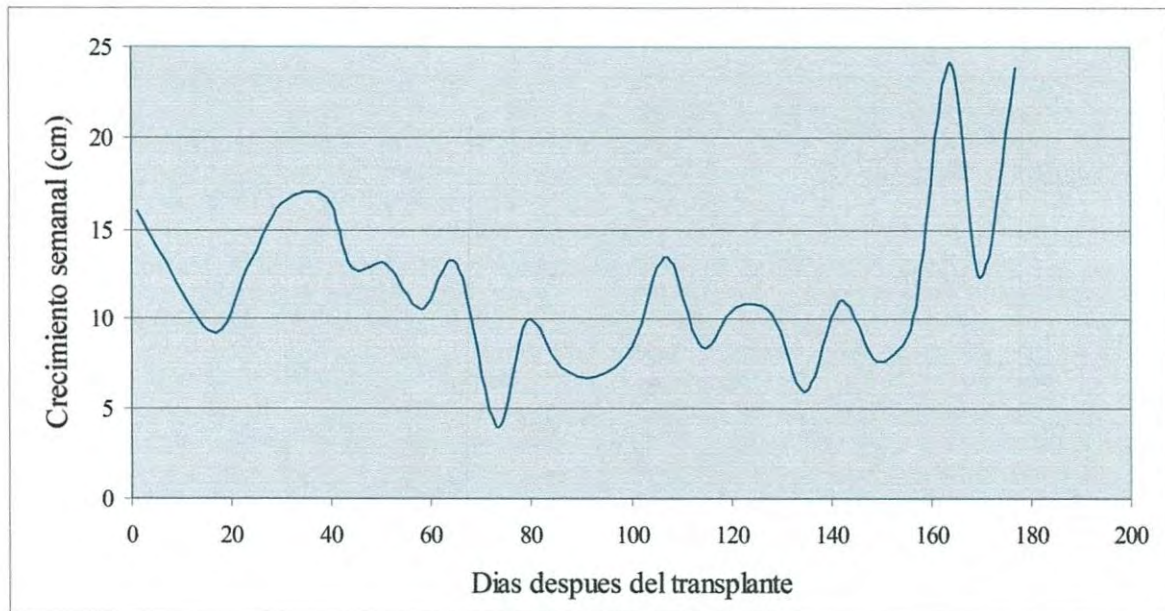


Figura 8. Tasa de crecimiento alcanzada por el tratamiento T3.

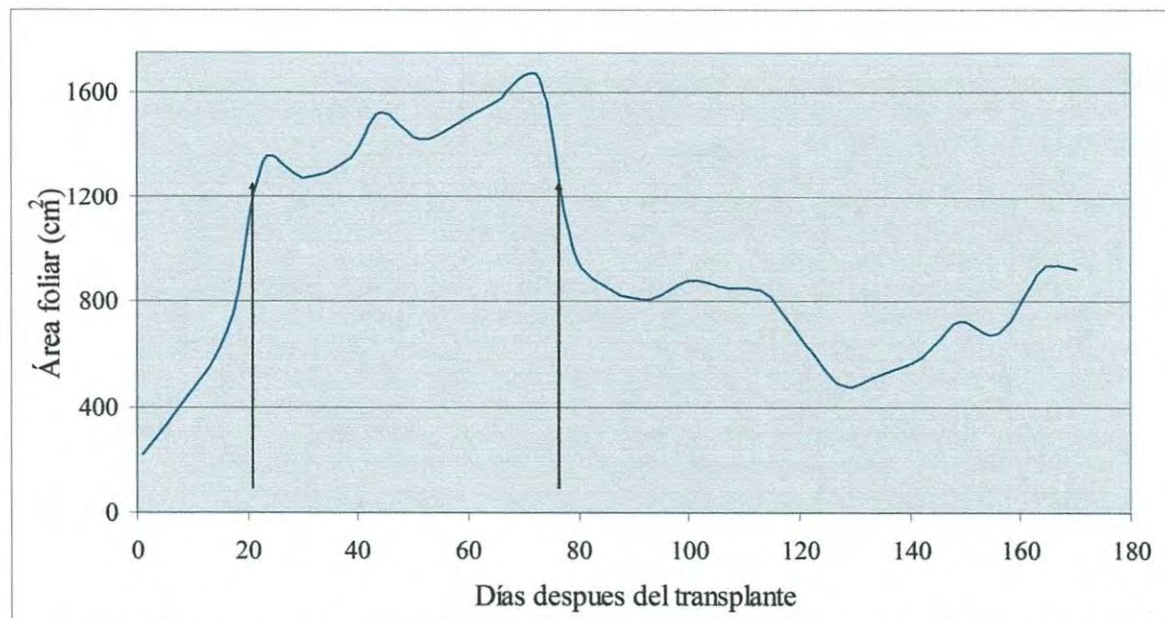


Figura 9. Velocidad crecimiento del área foliar en la hoja más recientemente madura a lo largo del experimento en el tratamiento T3.

Durante el experimento se aplicó una lámina total de agua de 1.25 m, acumulación mostrada en la figura 10. Al respecto, Ortega-Farias *et al.* (2001) mencionan obtención de altos rendimientos en tomate de invernadero (88.90 Mg ha^{-1}) cultivado en otoño para condiciones de Chile, con láminas de 0.44 m. Por otra parte, González y Hernández (2000) mencionan necesidades hídricas de tomate cultivado a cielo abierto, con láminas alrededor de 0.33 y 0.70 m. Fimbres (2004) cultivando tomate industrial a cielo abierto y bajo riego por goteo con condiciones de suelo iguales a las del presente experimento encontró máxima eficiencia de utilización de agua al aplicar una lámina de 0.70 m.

Sin embargo, tomando en cuenta el índice de rendimiento por unidad de agua aplicada comparado con los autores anteriores, se confirma un buen abastecimiento de agua durante todo su ciclo de producción, siendo para este experimento según el caso del T₃ de 56.3 l Kg^{-1} de fruta producido, 50.3 l Kg^{-1} para Ortega-Farias *et al.* (2001) y de 88.54 l Kg^{-1} para tomate industrial producido a cielo abierto de acuerdo a Fimbres (2004). De aquí la importancia del manejo de los cultivos bajo condiciones de invernadero, a comparación de los manejados a cielo abierto.

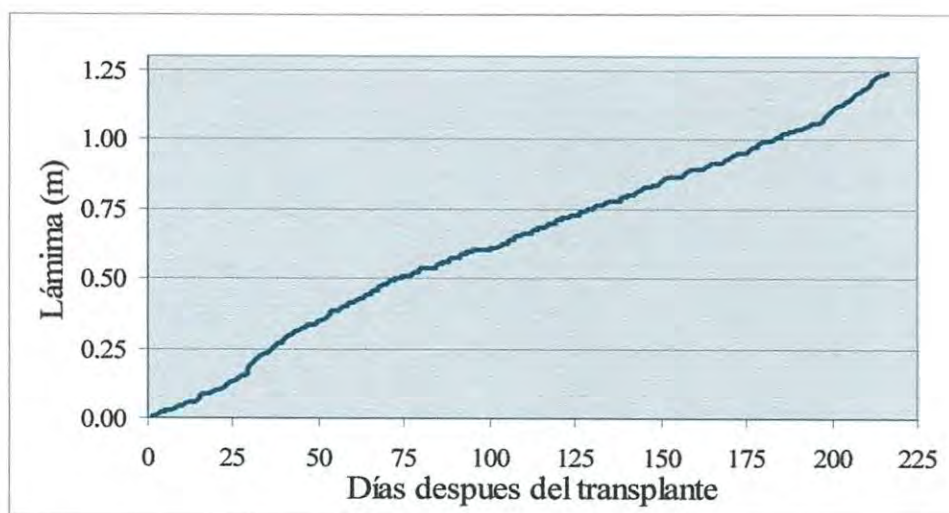


Figura 10. Lámina de riego acumulada aplicada al cultivo de tomate de invernadero.

Rendimientos. La cosecha inició el día 21 de enero (110 DDT) y finalizó el 28 de abril del 2004 (198 DDT). El cuadro 3, muestra las medias obtenidas para el rendimiento comercial y total. Para el caso de los rendimientos totales, los valores fluctuaron entre 192.7 y 222.6 Mg ha⁻¹, resultando diferencias significativas entre algunos de los cuatro tratamientos (P<0.05), siendo diferente el T₁ al T₂ y T₃, pero igual al T₄; así mismo el T₄, T₂ y T₃ resultaron ser iguales.

En cuanto a el rendimiento comercial, los valores variaron de 170.6 a 206.3 Mg ha⁻¹, encontrándose diferencias entre los tratamientos T₁ y T₄ en comparación con los T₂ y T₃ (P<0.05). Tomado en cuenta la cantidad de nitrógeno aplicado al T₄ (1000 kg ha⁻¹) y comparándolo con el T₂ y T₃ (500 y 750 Kg ha⁻¹, respectivamente), los rendimientos bajos obtenidos, se debieron al efecto detrimental que ocurre sobre los rendimientos al elevar las dosis de nitrógeno (Scholberg *et al.* 2001a). Sin embargo y aún considerando los rendimientos del T₄, los resultados se consideran diferentes a la producción promedio obtenida en este tipo de invernaderos en el país, la cual según Minero (2004) asciende a 150 y 200 Mg ha⁻¹.

Cuadro 3. Comparación de medias de cuatro tratamientos nitrogenados y su efecto sobre el rendimiento total y comercial de tomate de invernadero.

Tratamientos Kg N ha ⁻¹	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	
	Total	Comercial
250	192.7 a ^z	170.6 a
500	222.6 b	206.1 b
750	220.4 b	206.3 b
1000	212.1 ab	184.3 a

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

La representación gráfica de los rendimientos total y comercial se muestran en las figuras 11 y 12, donde el cultivo revela una diferencia significativa, en ambas mediciones, respecto a la aplicación de los tratamientos evaluados, expresando incrementos en rendimiento total, del 15.5% del T₂ con respecto del T₁, estableciéndose los rendimientos en el T₃ y adquiriendo un leve incremento de un 10.1% en el T₄.

Lo mismo sucedió con el rendimiento comercial, solo que las diferencia entre el T₁ y T₂ fueron mayores (18.0%), mientras que los rendimientos se mantuvieron estables entre el T₂ y T₃ y reducciones de un 11.4 % ocurrieron al aplicar el T₄; de igual forma, Gul *et al.*, (1996) realizaron una investigación probando dosis crecientes de 0, 120, 240 y 360 kg de N ha⁻¹ bajo condiciones de invernadero en Egipto y encontraron decrementos en producción de 14.5% al aplicar la dosis más alta.

Ho, (1995) menciona que bajos niveles de nitrógeno reducen el crecimiento vegetativo especialmente las hojas, las cuales proveen de asimilados a los frutos e impactan los rendimientos. A su vez Scholberg *et al.* (2001b), refuerzan lo anterior y explica que un estrés de nitrógeno en el cultivo de tomate, resulta en la formación de un bajo número y hojas pequeñas, repercutiendo en una reducida intercepción de luz y acumulación apreciable de biomasa, afectando negativamente los rendimientos.

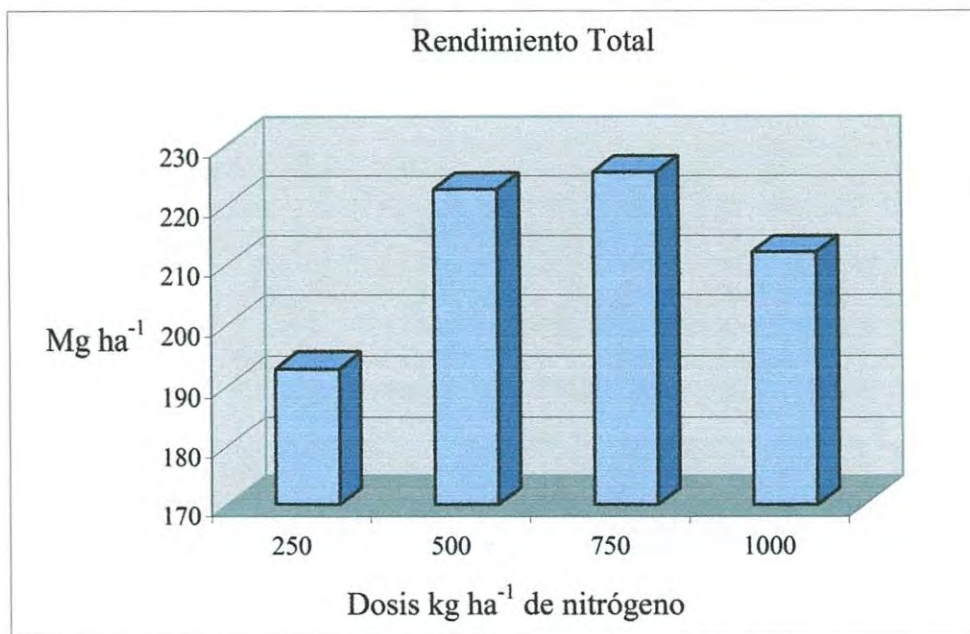


Figura 11. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre el rendimiento total del cultivo de tomate de invernadero “Beatrice”.

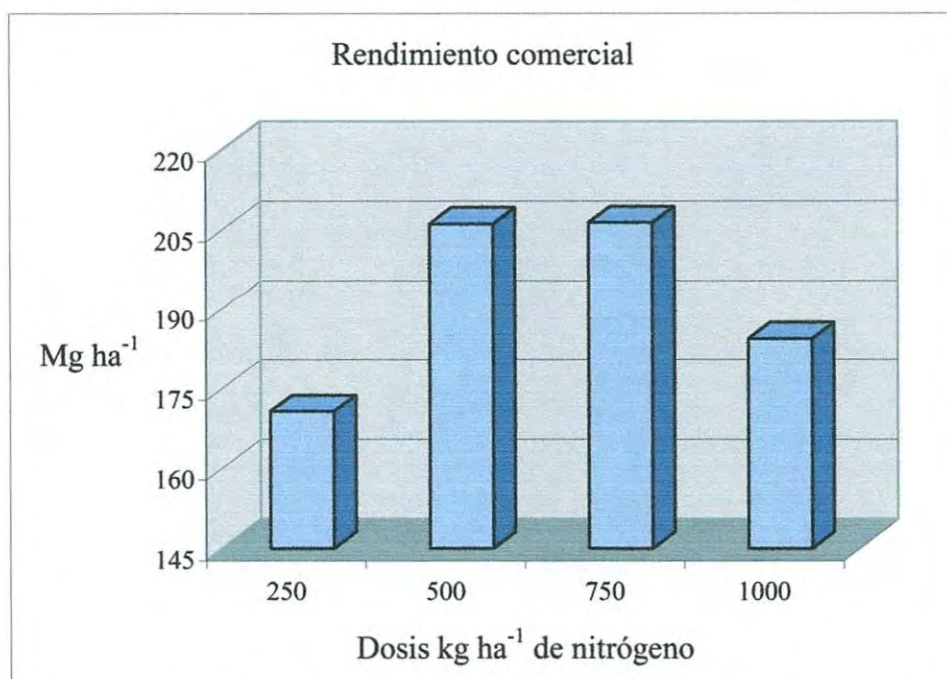


Figura 12. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre el rendimiento comercial del cultivo de tomate de invernadero “Beatrice”.

Por otro lado, Huett y Dettmann (1988) en un experimento realizado en Australia, bajo condiciones de cultivo en arena y evaluando cuatro niveles de nitrógeno (1.07, 5.36, 10.71 y 32.14 mmol L⁻¹), concluyeron que aplicaciones excesivas de nitrógeno retrasaron la época de cosecha por la prolongación de la fase de crecimiento reproductivo del cultivo y redujeron la firmeza de los frutos.

Respecto a la utilización del diseño experimental de “Bloques al azar”, no se encontró diferencia significativa ($P>0.05$) entre los bloques, demostrando que la recepción de luz por el acomodo de los “bloques” (motivo por el cual se bloqueó), no influyó de manera significativa en los rendimientos de este cultivo, para las condiciones en que se desarrolló el experimento.

Tamaño. El número de frutos por m² y su distribución proporcional, de acuerdo a los tratamientos aplicados, se muestra en los cuadros 4 y 5. El número total de frutos no fue diferente significativamente ($P>0.05$) por la aplicación de cada uno de los tratamientos; sin embargo, se incrementó de acuerdo a la dosis aplicada y encontró un descenso en la curva en el caso del tratamiento T₄.

El número de frutos chicos, se mantuvo constante en los cuatro tratamientos aplicados; sucediendo lo mismo con los tamaños medianos y grandes, donde la mayor cantidad de fruta se encontró con los tratamientos T₂ y T₃. Igualmente, al contabilizar los tamaños extra grandes se observaron en promedio iguales cantidades en todos los tratamientos ($P>0.05$).

Cuadro 4. Efecto de la nutrición nitrogenada sobre la distribución del tamaño de frutos de tomate de invernadero.

Tratamientos N kg ha ⁻¹	Número de frutos m ²				
	Chico	Mediano	Grande	Extra grande	Total
250	23.6a ^z	27.9a	36.7a	30.2a	118.4a
500	24.1a	31.4a	41.8a	39.0a	136.2a
750	28.1a	32.3a	46.7a	33.1a	140.2a
1000	28.3a	28.1a	36.9a	32.9a	126.2a

^z Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

Cuadro 5. Efecto de la nutrición nitrogenada sobre la distribución porcentual del tamaño de frutos de tomate de invernadero.

Tratamientos N kg ha ⁻¹	Porcentaje de frutos m ²				
	Chico	Mediano	Grande	Extra grande	Total
250	19.9	23.6	31.0	25.5	100
500	17.7	23.0	30.7	28.6	100
750	20.0	23.0	33.3	23.7	100
1000	22.3	22.3	29.2	26.2	100

La cosecha de frutos finalizó el día 28 de abril del 2004 (198 DDT), fecha en que se dejó de tomar datos para este estudio. Sin embargo, las plantas continuaron en producción hasta el mes de mayo (dato no mostrado), razón por la cual el T₄, tuvo menor número de fruta (madura). Al respecto Huett y Dettmann (1988) mencionan que altas aplicaciones de nitrógeno retrasan la cosecha de fruta en tomate. Al haber mayor cantidad de nitrógeno en el suelo para la planta, ésta responde con una mayor área foliar (Scholberg *et al.*, 2001a). Una mayor cantidad de área fotosintética altera la relación fuente versus demanda,

provocando un crecimiento vegetativo mayor que el reproductivo en la planta (Heuvelink y Buiskool, 1995), provocando un “vicio” de la planta producir follaje y no en producir fruta (Tanaka, 1974).

Lo contrario pudo suceder con el T₁, el cual no tuvo suficiente follaje para soportar las variaciones en temperaturas que se tuvieron al principio del estudio, provocando posiblemente un aborto de flores o mal amarre de frutos (Sato *et al.*, 2002).

Sólidos solubles totales. La calidad expresada como SST no se afectó en forma significativa ($P>0.05$) por la aplicación de los tratamientos (Cuadro 6, Figura 15) en ninguna de las dos fechas de muestreo realizada (6 de febrero y 11 de marzo del 2004). Sin embargo, los rangos de SST de la primera fecha variaron de 3.17 a 3.65 en comparación a la segunda fecha con valores de 4.15 a 4.46, respectivamente.

Cuadro 6. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre los sólidos solubles totales en tomate de invernadero.

Tratamientos Kg N ha ⁻¹	Sólidos solubles (°Brix)	
	6 de febrero 2004	11 de marzo 2004
250	3.44 a ^z	4.30 a
500	3.65 a	4.15 a
750	3.28 a	4.39 a
1000	3.17 a	4.46 a

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

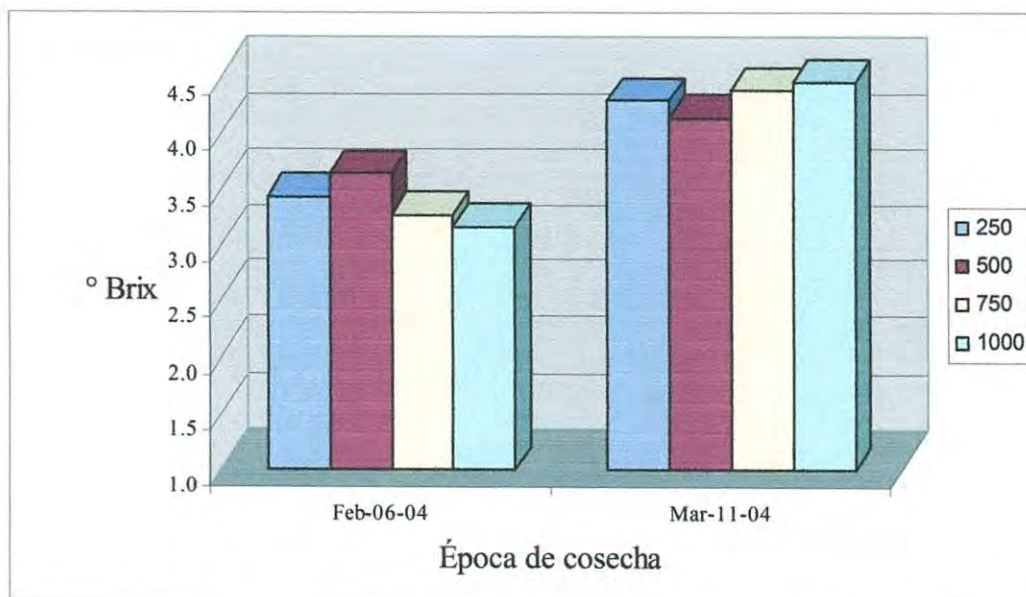


Figura 13. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre los sólidos solubles totales (°Brix) en dos épocas de cosecha en tomate de invernadero.

Debido a la diferencia entre los datos obtenidos en las dos fechas, se corrió una prueba de comparación en forma de “Parcelas apareadas” entre los datos de cada fecha, tomando cada fecha como un solo tratamiento, encontrándose diferencias altamente significativas entre ellas (Cuadro 7).

Cuadro 7 . Análisis en forma de parcelas apareadas de dos fechas para el dato de sólidos solubles totales (°Brix) en tomate de invernadero.

Pares	Número	Significancia
°Brix (6/02/03) y °Brix (11/03/03)	16	0.003

Es posible inferir que la diferencia de aproximadamente un grado entre fechas de muestreo, se debió a la variación en la conductividad eléctrica que para ese entonces se presume existió en el suelo, en comparación con la primera fecha. Sin embargo esta es solo una hipótesis que debió haberse confirmado.

Respecto a esta hipótesis, Gul *et al.* (1996) también encontraron variaciones en algunos parámetros de calidad al evaluar dosis crecientes de nitrógeno en tomate de invernadero, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación. Adicionalmente, Mohd y Ahmad (1997) encontraron aumentos en SST al incrementar la conductividad eléctrica de la solución en tomate crecido en Nutrient Film Technique, de 3 a 9 mS cm⁻¹. Lo mismo ocurrió en una investigación realizada por Dorais *et al.* (2000), buscando incrementar la calidad en la fruta con aumentos en la salinidad de la solución aplicada.

Acidez titulable. Con respecto a la AT (% ácido cítrico), tampoco se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ($P>0,05$; Cuadro 8; Figura 14). Los valores fluctuaron de 0.28 a 0.36% en los tratamientos y las dos fechas evaluadas. Ho (1995) menciona que al transcurso de la estación de crecimiento del cultivo, los azúcares aumentan y la acidez disminuye junto con la concentración de potasio en la fruta. Sin embargo refiere también que éste es un fenómeno no muy estudiado y que no se presenta continuamente.

Hobson y Davies (1971) citados por Ho (1996), mencionan que hay una estrecha correlación entre la cantidad de potasio aplicada y la acidez obtenida en frutas de tomate. Fontes *et al.* (2000) y Bugarin-Montoya *et al.* (2002) confirma lo anterior, al encontrar respuestas significativas a la aplicación de potasio en tomate sobre suelo y tomate cultivado bajo condiciones de invernadero.

Cuadro 8. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la acidez titulable en tomate de invernadero.

Tratamientos Kg N ha ⁻¹	Acidez titulable (% ac. cítrico)	
	6 de febrero 2003	11 de marzo 2003
250	0.28 a ^z	0.32 a
500	0.33 a	0.33 a
750	0.35 a	0.35 a
1000	0.31 a	0.32 a

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

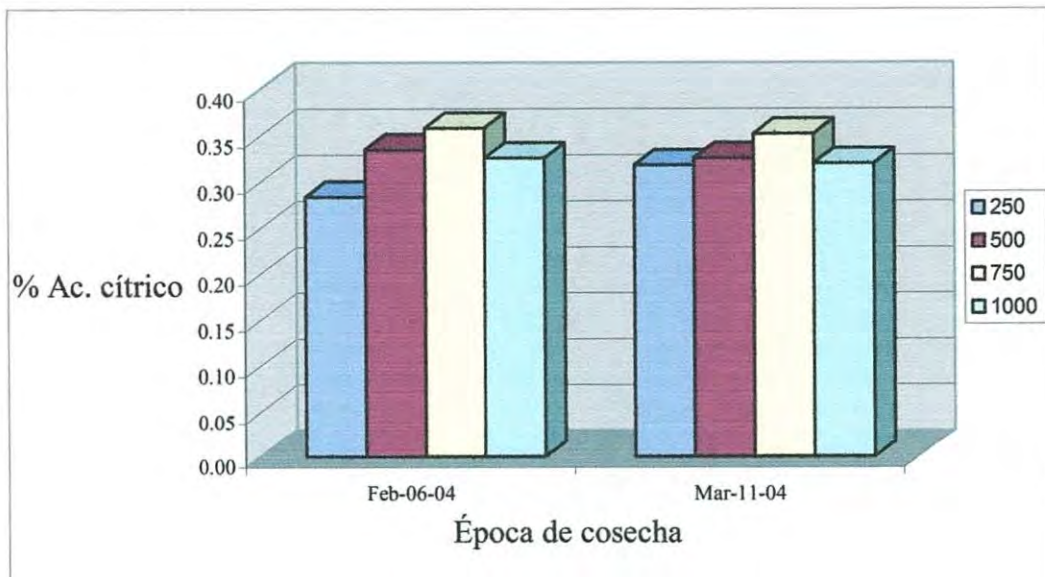


Figura 14. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la acidez titulable (% de ácido cítrico) en dos épocas de cosecha en tomate de invernadero.

Relación sólidos solubles totales · Acidez titulable⁻¹. Al evaluar la relación entre los sólidos solubles totales y acidez titulable no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las fechas valoradas (Cuadro 9; Figura 15), en los cuales no hubo diferencias

significativas. La variación entre una fecha y otra es el resultado de la variación presentada por los SST en las dos fechas evaluadas. En un estudio, Gul *et al.* (1996) evaluaron dosis crecientes de nitrógeno sobre éste mismo parámetro de calidad y tampoco encontraron efectos significativos a la aplicación de los tratamientos.

Cuadro 9. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la relación sólidos solubles · totales acidez titulable⁻¹ en tomate de invernadero.

Tratamientos Kg N ha ⁻¹	Sólidos solubles · totales acidez titulable ⁻¹	
	6 de febrero 2004	11 de marzo 2004
250	12.37 a ^z	13.60 a
500	10.92 a	12.73 a
750	9.26 a	12.64 a
1000	10.10 a	14.07 a

^zMedias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%).

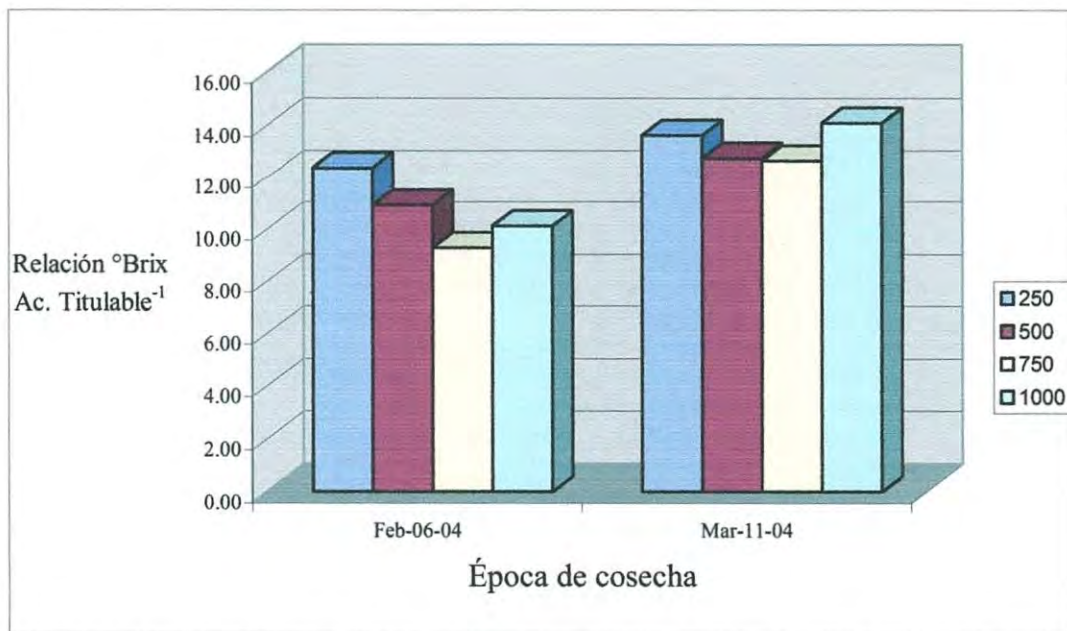


Figura 15. Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la relación sólidos solubles · totales acidez titulable⁻¹ en dos épocas de cosecha en tomate de invernadero.

En general, según Grierson y Kader (1986), mientras más tiempo permanezca el fruto en la planta de tomate, mejor es el sabor percibido por los consumidores, ya que sus características organolépticas son modificadas. Kader *et al.* (1978) y Zambrano *et al.* (1995) mencionan que algunos de los parámetros de calidad como los son la AT, SST y los azúcares reductores, son afectados por el estado de madurez en que son cosechados y por el manejo post-cosecha que se le da a la fruta.

La acidez titulable del jugo de la fruta está principalmente determinada por la presencia de ácido cítrico y málico, y ésta varía grandemente entre cultivares (Stevens y Rick, 1986; Kader *et al.*, 1978). La salinidad reduce la cantidad de agua en el fruto (Ehret y Ho, 1986), resultando en un incremento en la concentración de azúcares y ácidos en el jugo de la fruta (Mikkelsen, 2005). En este caso eso parece ser lo que sucedió, aunque en la acidez titulable las diferencias no fueron significantes.

Experimento II. Determinación del patrón de absorción de nitrógeno.

Rendimiento y calidad. Los datos de cosecha de la parcela donde se midió el patrón de absorción de nitrógeno, su distribución proporcional en tamaño de fruta y número, se muestran en el cuadro 10. El rendimiento obtenido por cada planta fue del orden de 4.50 kg, de los cuales el 74.2% (3.34 kg planta⁻¹) fueron rendimiento comercial y el resto rezaga. Por otro lado, en cuanto a tamaño se refiere, las plantas presentaron un porcentaje muy grande de fruto chico (36%); lo anterior podría ser posible que al tener una planta en la orilla de un invernadero, implica que éstas recibirán todas las contingencias e inclemencias ambientales (luz, temperatura, etc..) que ocurran durante su periodo de desarrollo. El resto de los tamaños no varió mucho en su distribución proporcional siendo 20% para los medianos, 24% para los grandes y 20% para frutos extragrandes.

Cuadro 10. Número de frutos comerciales y distribución proporcional por planta en la parcela utilizada para la obtención del patrón de absorción de nutrientes.

Frutos planta ⁻¹	Clasificación				
	Chico	Mediano	Grande	Extra grande	Total
Número	8.0	4.6	5.4	4.6	22.6
Porcentaje	36	20	24	20	100

Materia Seca. El patrón de acumulación de materia seca en la planta completa y en sus partes como frutos y hojas, se muestra en la figura 16 y 17, y se expresan en g planta⁻¹ con respecto a DDT y en Unidades Calor Acumuladas (UCA) temperatura base 10° C según Wolf *et al.* (1986) y Millar *et al.* (2001).

Al final del estudio, cada planta acumuló un total de 1003.47 g, siendo el 46% dirigida a los frutos y el 54% en las hojas. Al respecto, Ho (1995) menciona que una planta de tomate, para proveer de altos rendimientos, ésta, necesita destinar cuando menos alrededor de un 43% de su material seco a la fruta. Informa también que esa es una de las razones por las que las variedades de tomate tipo cherry tienen menores rendimientos.

Andriolo *et al.* (2003), estudiando plantas con diferentes tratamientos de salinidad desarrolladas bajo condiciones de invernadero, encontraron rendimientos de tomate de 8.6 a 11.1 kg m², con una distribución de materia seca del orden de 36% a los frutos y 64% al follaje.

Los cuadros 11 y 12, muestran los modelos matemáticos obtenidos para expresar el comportamiento de la acumulación de materia seca del cultivo. Donde las variables Fr, Fo, Bt, y X representan la biomasa del fruto, biomasa del follaje, biomasa total y DDT o UCA respectivamente según corresponda. Este tipo de ecuaciones han sido desarrolladas para

muchos otros cultivos (Thompson *et al.*, 2000a y 2000b) y sirven para proveer información acerca de la forma y velocidad en que éstos crecen y se desarrollan en relación con el tiempo y la temperatura (Heuvelink, 1996; Heuvelink, 1999 y Bugarín-Montoya *et al.*, 2001).

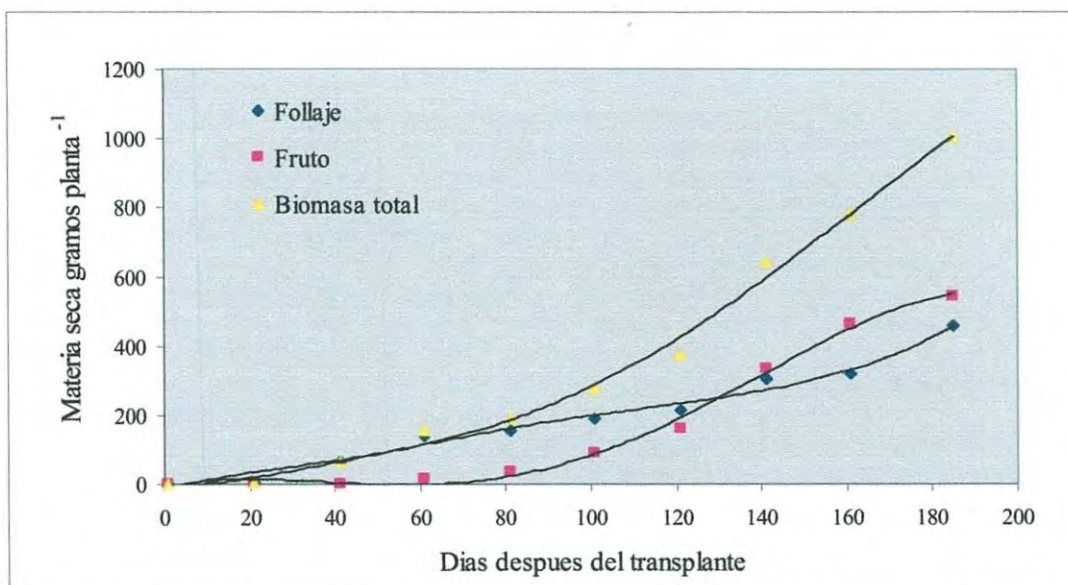


Figura 16. Acumulación de biomasa total, fruta y follaje de tomate de invernadero expresada en gramos planta⁻¹ en días después del trasplante.

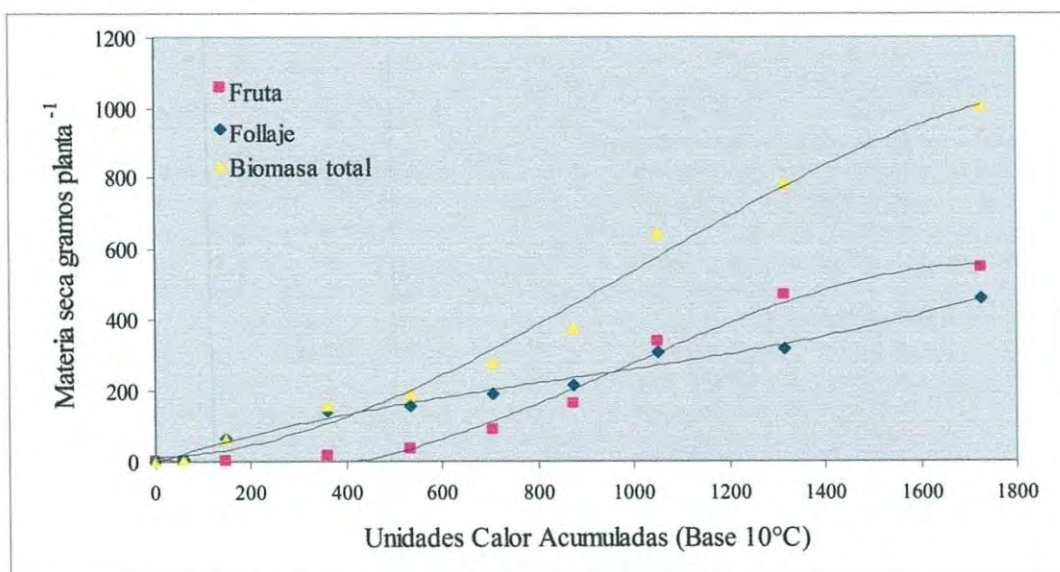


Figura 17. Acumulación de biomasa total, fruta y follaje de tomate de invernadero expresada en gramos planta⁻¹ en unidades calor acumuladas.

Hoy en día, para el caso específico de tomate de invernadero, se han desarrollado modelos para otras latitudes, tales como Brasil (Andriolo *et al.*, 2003; Fayad *et al.*, 2002), Holanda (Heuvelink, 1996 y 1999), Australia (Huett y Dettmann, 1988) entre otras sin embargo, se requiere que estos modelos sean desarrollados para condiciones específicas de clima y manejo.

Cuadro 11. Modelos matemáticos obtenidos de la acumulación de biomasa en tomate de invernadero, con relación a DDT.

Modelos matemáticos	R ²
$Bt = -2E-06x^4 + 0.0007x^3 - 0.0519x^2 + 3.2411x - 16.159$	0.9930
$Fo = -3E-06x^4 + 0.0012x^3 - 0.1048x^2 + 2.9062x - 10.195$	0.9944
$Fr = 2E-06x^4 - 0.0005x^3 + 0.0529x^2 + 0.3349x - 5.9643$	0.9863

²Fr, Fo, Bt, y X representan la biomasa del fruto, biomasa del follaje, biomasa total y DDT

Cuadro 12. Modelos matemáticos obtenidos de la acumulación de biomasa en tomate de invernadero, con relación a UCA.

Modelos matemáticos	R ²
$Bt = -2E-07x^3 + 0.0007x^2 + 0.0318x + 11.994$	0.9884
$Fo = -3E-07x^3 + 0.001x^2 - 0.3923x + 14.225$	0.9857
$Fr = 1E-07x^3 - 0.0003x^2 + 0.4241x - 2.2315$	0.9876

²Fr, Fo, Bt, y X representan la biomasa del fruto, biomasa del follaje, biomasa total y UCA

Absorción de nitrógeno. Las figuras 18 y 19 muestran el patrón de absorción de nitrógeno presentado por el cultivo a lo largo de la estación de crecimiento. El cultivo acumuló un total de 28.81 g de nitrógeno por planta, 53.81% hacia la fruta y un 46.19% al follaje. Esto significa, 15.30 g de nitrógeno dirigidos al fruto y el resto en el follaje (13.31 g). Fayad *et al.* (2002), determinando patrones de absorción en tomate de campo e invernadero,

encontraron absorciones de 206 y 211 Kg de N ha⁻¹ respectivamente. Ho (1996), reporta absorciones del orden de 200 a 600 Kg de N ha⁻¹ para tomate de invernadero con rendimientos de 100 Mg ha⁻¹. Para los datos obtenidos en el presente trabajo (28.81 g de nitrógeno planta⁻¹), esto representa una demanda de 594.2 Kg de N ha⁻¹ para un rendimiento de 92.85 Mg ha⁻¹ a una densidad de población de 2.1 plantas m².

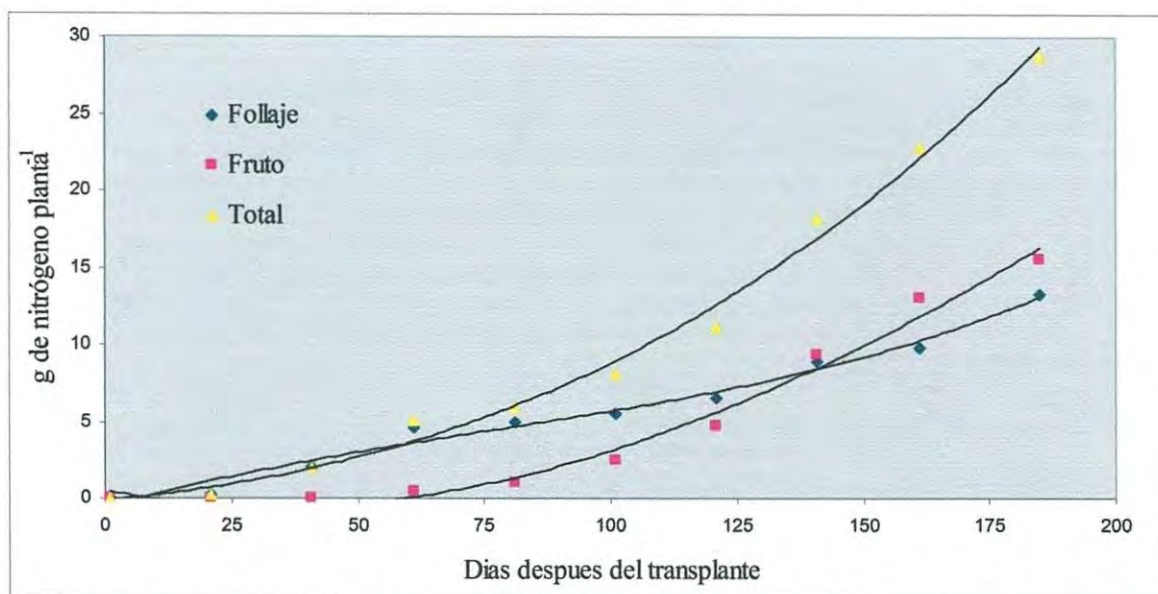


Figura 18. Acumulación de nitrógeno en fruta, follaje y biomasa total en tomate de invernadero expresada en gramos nitrógeno planta⁻¹

El resultado de la absorción del nitrógeno, concuerda con los autores antes mencionados, sin embargo se debe de tomar en cuenta que la absorción de nitrógeno en los cultivos esta condicionada a situaciones agronómicas y ecofisiológicas (Gastal y Lemaire, 2002). Arshad y Radish (2001) encontraron reducciones en la absorción de nitrógeno en plántulas cultivadas a varias concentraciones de sales. Así mismo, Andriolo *et al.* (2003) encontraron resultados similares al utilizar soluciones “recicladas”. Otras situaciones a considerar son la densidad de plantación, el tipo de conducción del cultivo (Huett y Dettman, 1988), podas (Huett y Dettman, 1988; Heuvelink y Buiskool, 1995), raleos de

fruto (Heuvelink y Buiskool, 1995), salinidad del suelo (Ismail y Rashida, 1997), entre otros.

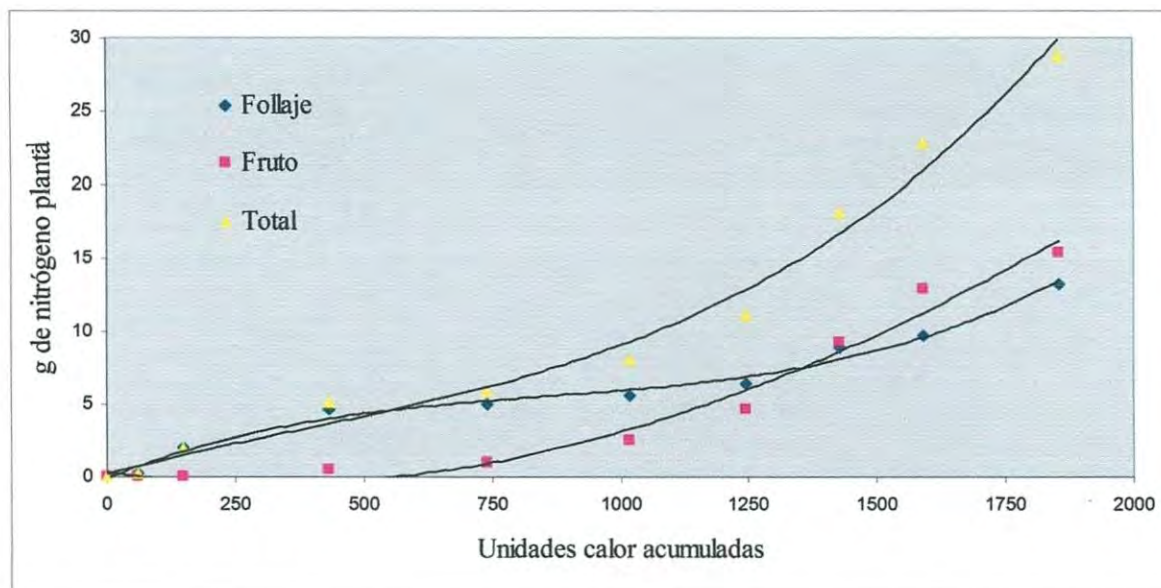


Figura 19. Acumulación de nitrógeno en fruta, follaje y biomasa total en tomate de invernadero expresada en gramos de nitrógeno planta⁻¹.

Las figuras 20 y 21, muestran la tasa diaria de absorción de nitrógeno expresada en g de N planta⁻¹ día⁻¹, con relación a DDT y UCA. El cultivo presentó una absorción ascendente de nitrógeno (0.16 g planta⁻¹ día⁻¹) desde el transplante a los 61 DDT (480 UCA), periodo durante el cual se presentó la máxima área foliar del cultivo (1,400 cm²; Figura 9). Posteriormente, a los 84 DDT (750 UCA) presentó un decremento de alrededor de 0.05 g planta⁻¹ día⁻¹. La máxima tasa de absorción de nitrógeno se presentó a los 141 DDT (1,427 UCA), con una tasa de 0.35 g planta⁻¹. Tres días antes había dado comienzo el periodo de temperaturas óptimas para el desarrollo del cultivo (Figura 6). Fayad *et al.* (2002) encontraron tasas de absorción de nitrógeno del orden de 0.11 g planta⁻¹ día⁻¹ en tomate de invernadero para condiciones de Brasil.

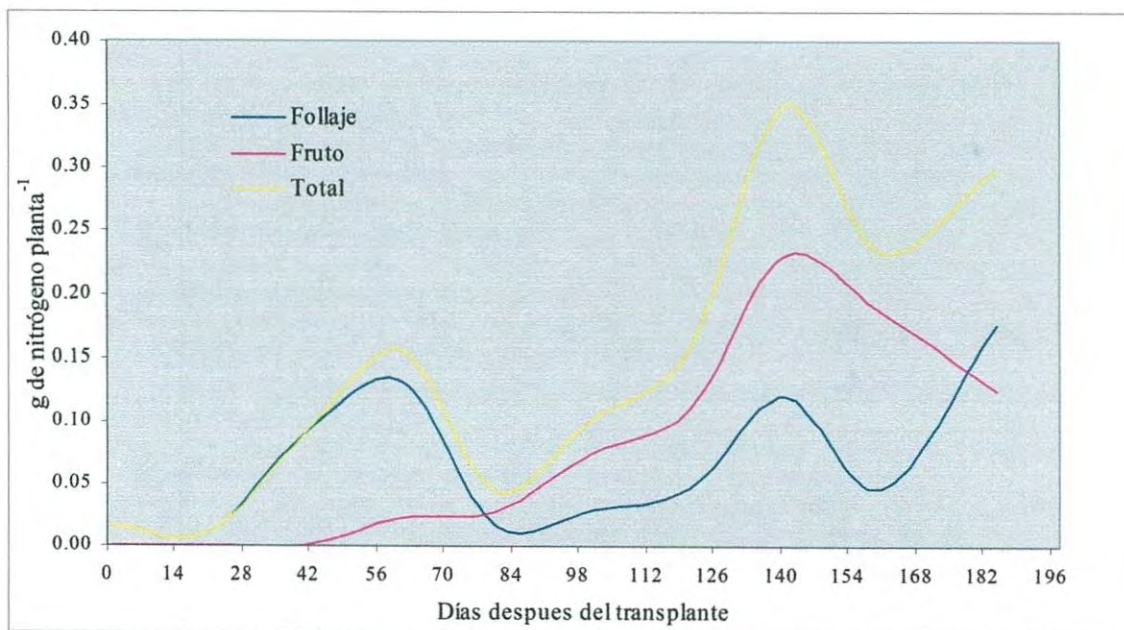


Figura 20. Tasa de absorción de nitrógeno en fruta, follaje y total en tomate de invernadero expresada en gramos nitrógeno planta⁻¹ día⁻¹.

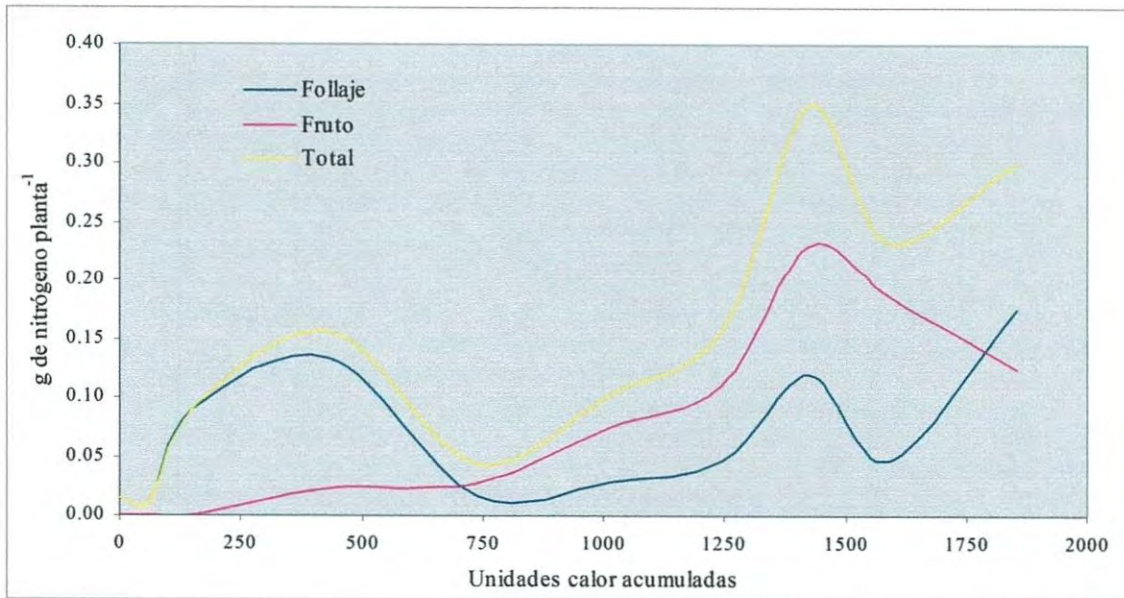


Figura 21. Acumulación de nitrógeno en fruta, follaje y total en tomate de invernadero expresada en gramos de nitrógeno planta⁻¹ día⁻¹.

Los cuadros 13 y 14 presentan los modelos descriptivos de acumulación de nitrógeno para cada caso en DDT y UCA, respectivamente.

Cuadro 13. Modelos matemáticos obtenidos de la acumulación de nitrógeno en tomate de invernadero, expresados en DDT.

Modelos matemáticos	R ²
${}^z\text{Bt} = 1\text{E}-06x^3 + 0.0005x^2 + 0.0286x - 0.0942$	0.9917
$\text{Fo} = 2\text{E}-06x^3 - 0.0006x^2 + 0.0951x - 0.6379$	0.9802
$\text{Fr} = -1\text{E}-06x^3 + 0.001x^2 - 0.0665x + 0.5437$	0.9840

Cuadro 14. Modelos matemáticos obtenidos de la acumulación de nitrógeno en tomate de invernadero, expresados en UCA.

Modelos matemáticos	R ²
${}^z\text{Bt} = 5\text{E}-09x^3 - 5\text{E}-06x^2 + 0.0092x + 0.2696$	0.9843
$\text{Fo} = 5\text{E}-09x^3 - 1\text{E}-05x^2 + 0.0144x - 0.0989$	0.9884
$\text{Fr} = -6\text{E}-10x^3 + 9\text{E}-06x^2 - 0.0053x + 0.3685$	0.9769

Experimento III: Determinación de rangos de suficiencia de NO₃-N en Extracto Celular de Pecíolo.

Con el desarrollo de la agricultura moderna el empleo de medidores portátiles para el monitoreo de la nutrición de cultivos se hace necesario, ya que se pueden tomar decisiones al momento a la vez que se logra hacer eficiente la aplicación de recursos y proteger el entorno agrícola (Hartz *et al.*, 1994b).

En esta investigación se realizaron en total nueve muestreos durante el ciclo de cultivo; los cuales dieron comienzo desde el 14 de noviembre del 2003 al 21 de abril del

2004, justamente una semana antes de la última cosecha. El comportamiento evolutivo de las concentraciones de N-NO₃ en extracto celular de pecíolo, promedio de los cuatro tratamientos (250-1,000 kg ha⁻¹ N), se muestran en la figura 22.

En ella se aprecia un descenso general en las concentraciones de N-NO₃ a lo largo del ciclo de crecimiento; situaciones similares se han encontrado en tomate de invernadero (Coltman, 1987a), tomate manejado a cielo abierto (Taber, 2001; Coltman, 1987b), papa (Badillo-Tovar *et al.*, 2001;) y melón (Fontes *et al.*, 2003).

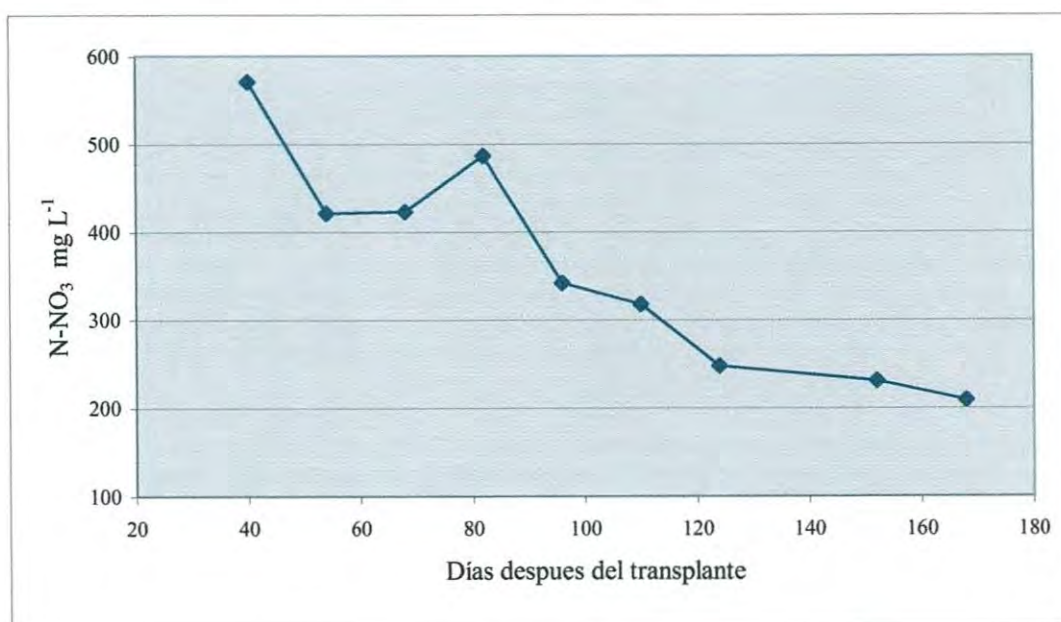


Figura 22. Variación en las concentraciones de N-NO₃ en extracto celular de pecíolo en tomate de invernadero a lo largo del ciclo de crecimiento.

En la misma figura 22, se aprecia un ligero aumento en la concentración de N-NO₃ en el promedio de los tratamientos a los 82 DDT (26 de diciembre del 2003), fecha donde 19 días antes, las temperaturas dentro del invernadero se empezaban a mantener uniformes y estables (10 y 30 °C), con un promedio de 16 °C; coincidentemente, en esa fecha se presentó un decremento en el área foliar cercana a los 800 cm² comparada con una de

alrededor de 1550 cm² de la semana anterior (Figura 9).

Al respecto, Oliveira *et al.* (2003) estudiando las variaciones diurnas y estacionales en composición mineral y de pH de savia de tomate, encontraron que a medida que bajaba la temperatura, aumentaba la concentración de N-NO₃. Al respecto, Stark *et al.* (1983) atribuyeron el incremento en niveles de nitrato en pecíolos de tomate de campo a una reducción en la velocidad del crecimiento relativo.

El cuadro 15, muestra las ecuaciones y coeficientes de determinación (R²) encontrados, obtenidos de las ecuaciones ajustadas, los cuales variaron de 0.7438 a 0.9925 a lo largo del ciclo del cultivo, mostrando buena correlación entre los rendimientos (Y) y concentraciones medias obtenidas (X). Coltman (1987a) estudiando tomate manejado a cielo abierto bajo las condiciones tropicales de Hawai, encontró coeficientes de determinación del orden de R² de 0.66 a 0.95. Así mismo, las figuras 23 a la 31 muestran las relaciones obtenidas entre rendimiento y concentración de NO₃, encontradas para cada fecha de muestreo.

Cuadro 15. Ecuaciones de regresión y fechas de muestreo de N-NO₃ en pecíolos de tomate de invernadero y relación con el máximo rendimiento obtenido.

No.	Fecha de muestreo	DDT	Ecuaciones de regresión	R ²
1	14 de noviembre 2003	40	$Y = -0.0002x^2 + 0.2299x - 44.164$	0.9839
2	28 de noviembre 2003	54	$Y = -0.0013x^2 + 1.1488x - 233.74$	0.9925
3	12 de diciembre 2003	68	$Y = -0.0011x^2 + 0.916x - 171.69$	0.7438
4	26 de diciembre 2003	82	$Y = -0.0001x^2 + 0.1381x - 17.852$	0.7890
5	9 de enero 2004	96	$Y = -0.0013x^2 + 0.9714x - 154.10$	0.9703
6	23 de enero 2004	110	$Y = -0.0008x^2 + 0.5402x - 74.529$	0.9650
7	6 de febrero 2004	124	$Y = -0.0019x^2 + 0.9347x - 93.307$	0.9841
8	5 de Marzo 2004	152	$y = -0.0179x^2 + 8.3375x - 945.23$	0.7858
9	21 de abril 2004	168	$y = -0.016x^2 + 6.7263x - 680.42$	0.9877

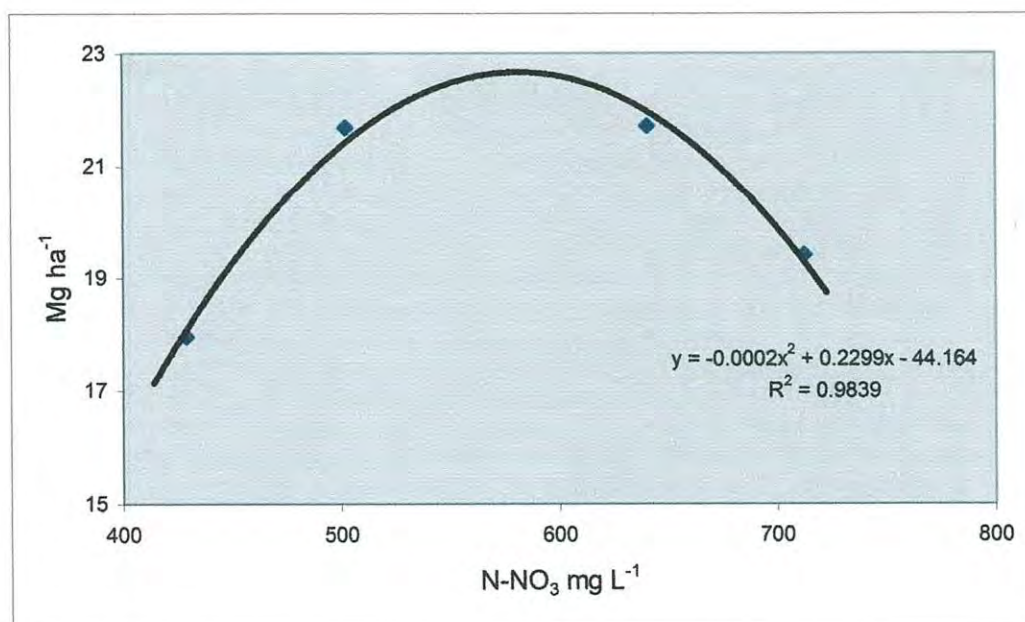


Figura 23. Relación entre la concentración de N-NO₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 40 días después del transplante.

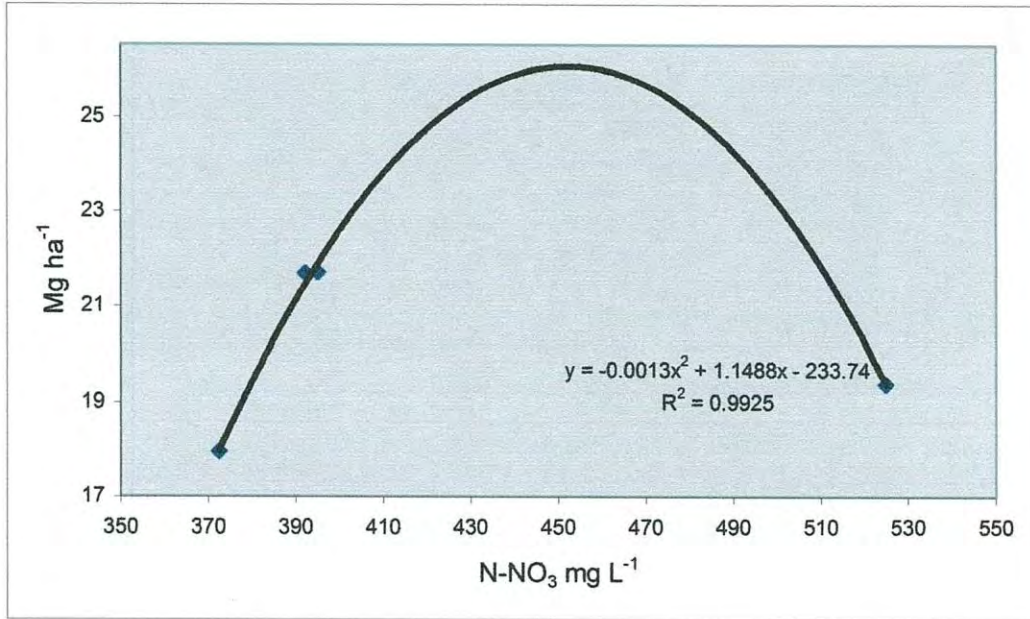


Figura 24. Relación entre la concentración de N-NO₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 54 días después del transplante.

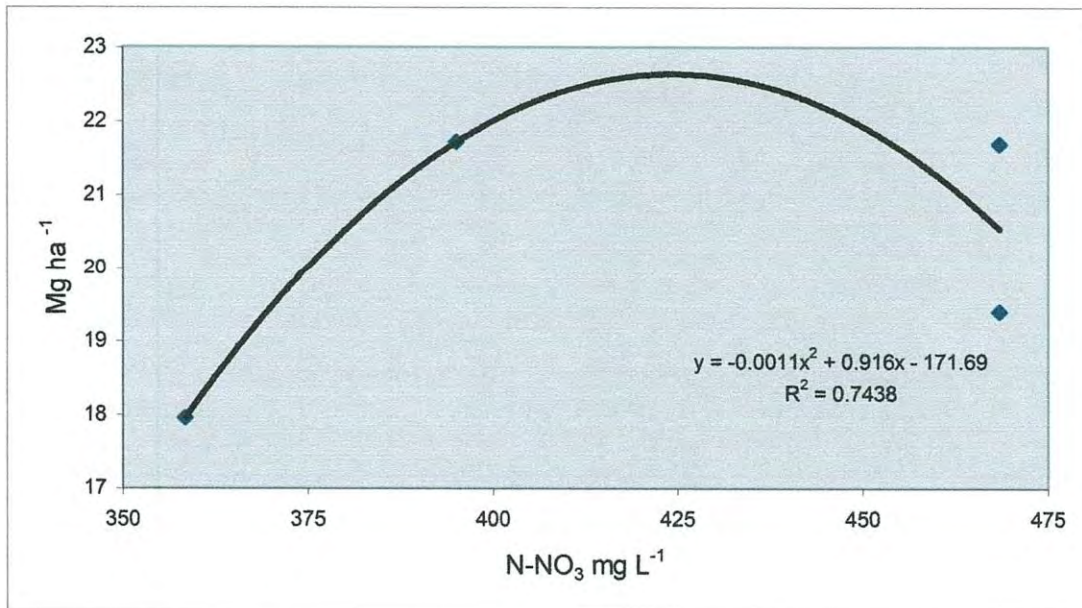


Figura 25. Relación entre la concentración de N-NO₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 68 días después del transplante.

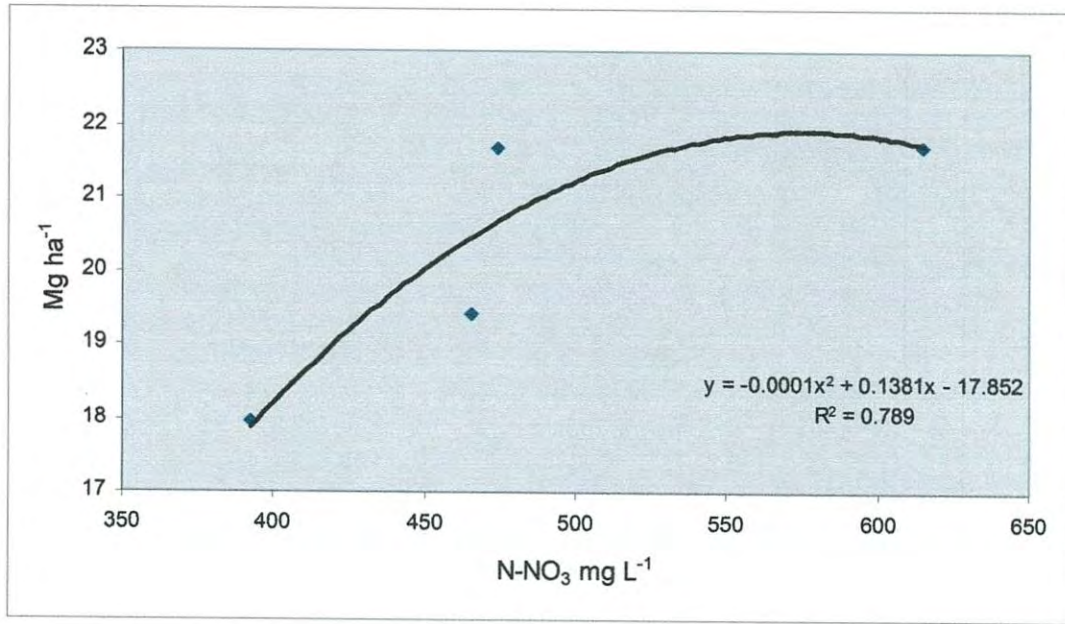


Figura 26. Relación entre la concentración de N-NO₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 82 días después del transplante.

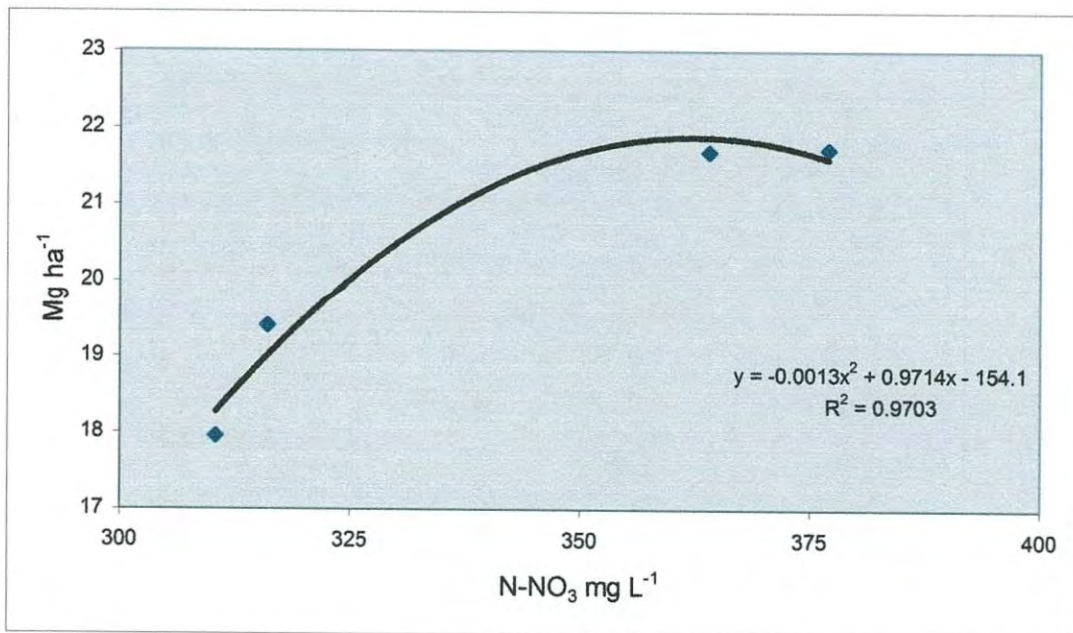


Figura 27. Relación entre la concentración de N-NO₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 96 días después del transplante.

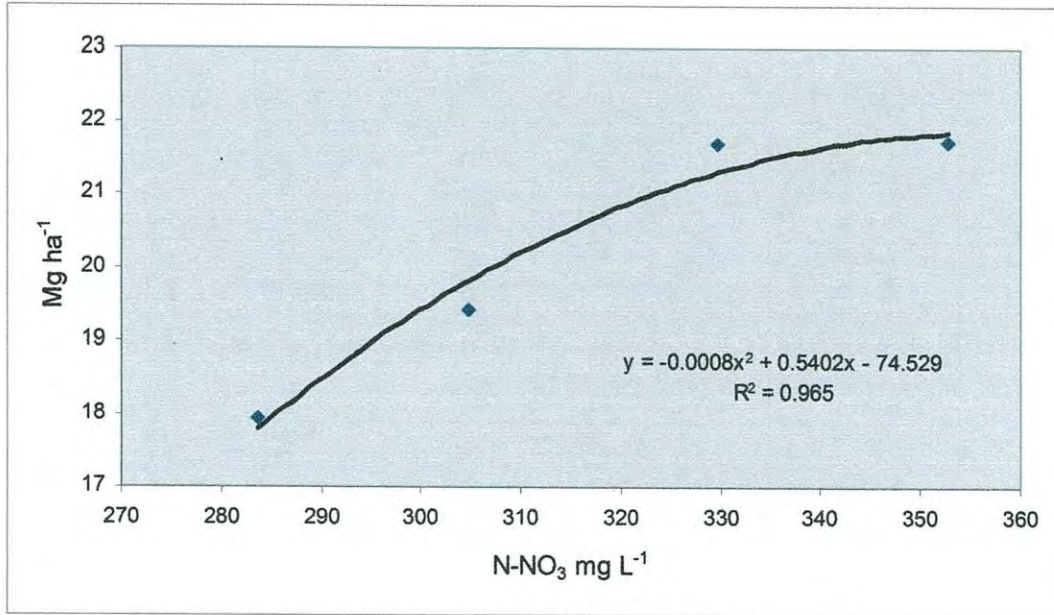


Figura 28. Relación entre la concentración de N-NO₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 110 días después del transplante.

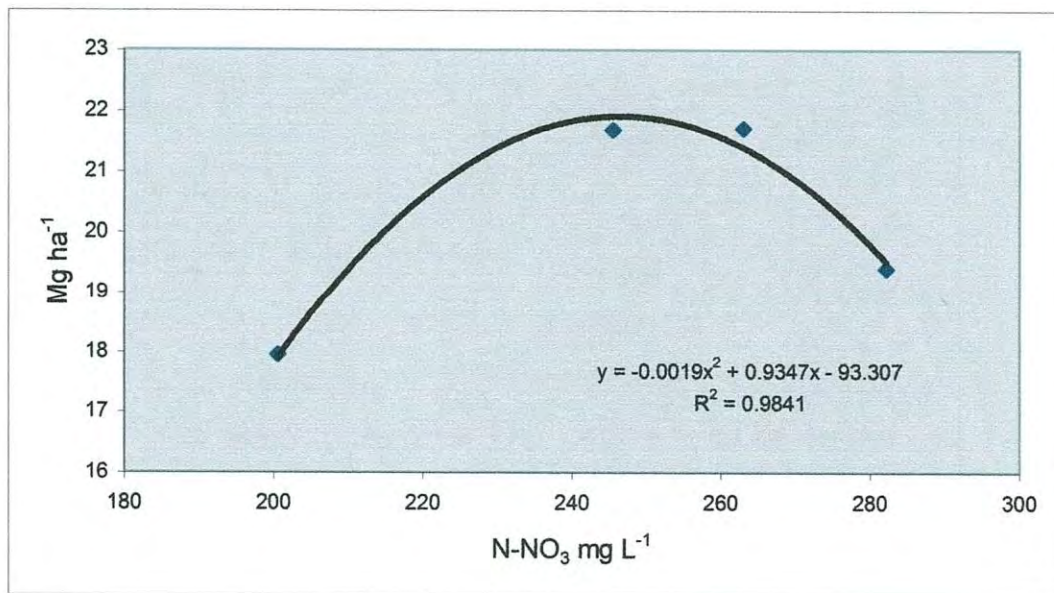


Figura 29. Relación entre la concentración de N-NO₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 124 días después del transplante

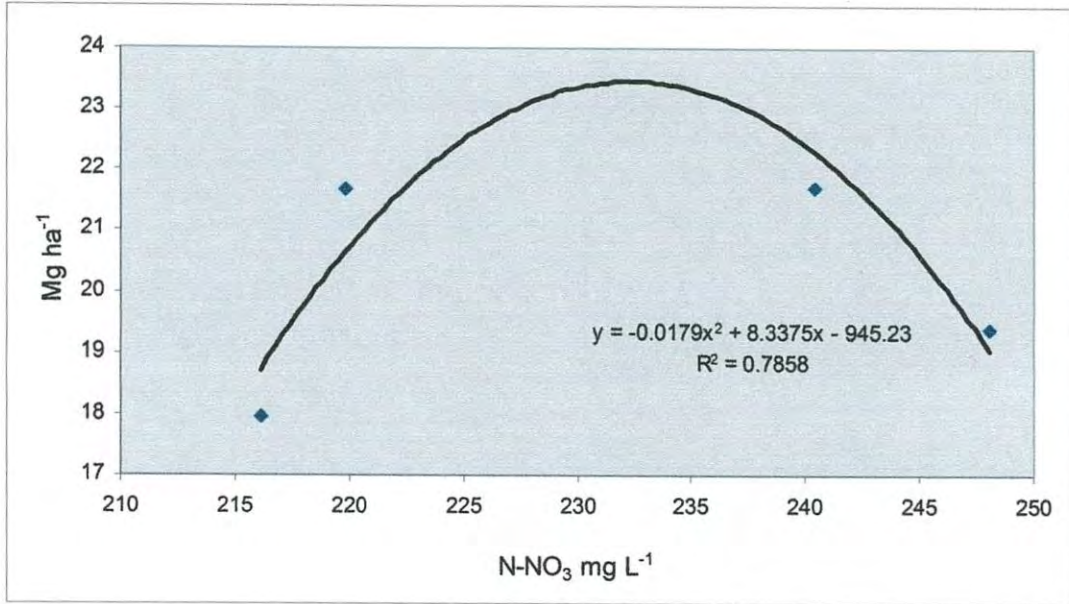


Figura 30. Relación entre la concentración de N-NO₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 152 días después del transplante.

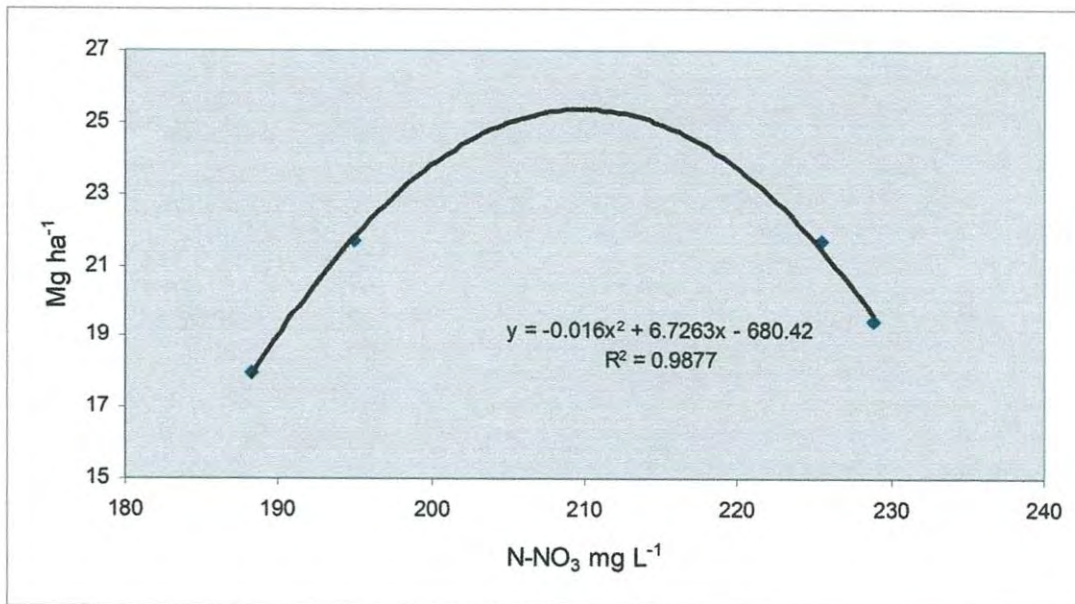


Figura 31. Relación entre la concentración de N-NO₃ y el máximo rendimiento en tomate de invernadero a los 168 días después del transplante.

El cuadro 16. muestra rangos críticos de suficiencia de N-NO₃ en ECP, para obtener rendimientos máximos del orden del 95 al 100%, logrados para tomate de invernadero

cultivado bajo las condiciones de Caborca Sonora. En este cuadro se observa una amplitud muy pronunciada en el rango obtenido al comienzo de la estación de crecimiento presentando una cantidad de 76 mg L^{-1} de N-NO_3 , entre el límite inferior y el superior, mientras que al final de la misma, el rango se reduce a tan solo 9 mg L^{-1} .

Cuadro 16. Rangos críticos de suficiencia obtenidos en extracto celular de pecíolo de tomate de invernadero.

No.	Fecha de muestreo	DDT	UCA	$\text{N-NO}_3 \text{ (mg L}^{-1}\text{)}$
1	14 de noviembre 2003	40	136.0	506 – 582
2	28 de noviembre 2003	54	276.5	420 – 450
3	12 de diciembre 2003	68	416.8	392 – 429
4	26 de diciembre 2003	82	534.3	480 – 576
5	9 de enero 2004	96	641.3	334 – 363
6	23 de enero 2004	110	776.8	319 – 357
7	6 de febrero 2004	124	891.3	222 – 231
8	5 de Marzo 2004	152	1138.8	224 – 232
9	21 de abril 2004	168	1422.3	201 – 210

De acuerdo a lo anterior, se deduce que el empleo de esta técnica al principio de la estación de crecimiento, puede dar un margen mayor de manejar la nutrición nitrogenada sin afectar los rendimientos; mientras que al final de la estación se encontraría más limitada, en el sentido de que las aplicaciones de nitrógeno tendrían que ser muy precisas para evitar reducción en los rendimientos, situación fundamental en el manejo de la nutrición vegetal.

De aquí la importancia en la utilización de éstas tecnologías como herramientas de

diagnóstico para hacer eficiente el uso de los recursos sin dañar el medio ambiente y a la vez obtener altos rendimientos (Hartz *et al.*, 1994b).

La efectividad en la utilización de ionímetros portátiles ha sido demostrada a través de diversos estudios y ensayos de campo alrededor del mundo (Badillo-Tovar *et al.*, 2001; Rosen *et al.*, 1996; Matthäus y Gysi, 2001). Sin embargo, ésta se encuentra limitada a la generación de información acorde a cada situación de producción, lo que incluye sustrato o suelo, técnicas de cultivo como podas, deshojes, producción a cielo abierto o invernadero, estado de crecimiento y época de producción.

Huett y Rose (1988) trabajando con tomate, obtuvieron rangos de suficiencia para condiciones de Australia. En su estudio no se realizaron podas, raleos ni conducción de la planta; ellos correlacionaron las concentraciones con el máximo crecimiento expresado por el cultivo. Por otro lado Fontes y Ronchi (2002) determinaron valores críticos de N-NO₃ para plántulas de tomate para una sola época de crecimiento, utilizando diferentes procedimientos estadísticos, en los cuales relacionaron el peso de las plántulas y tipos de sustrato, con dosis de nitrógeno.

Las diferencias en los rangos de suficiencia para N-NO₃ encontrados en la presente investigación y los datos publicados en la literatura (Hochmouth, 1994a y b; Coltman 1987a y b) obedecen a la determinación bajo diferentes ambientes, de ahí la importancia de generarlos para cada situación en particular (Etchevers, 1997). La aplicación adecuada de técnicas de monitoreo nutrimental no solo conllevan a la obtención de altos rendimientos por unidad de fertilizante aplicado (Papadopoulos, 1991), sino que evita la contaminación del agua del subsuelo (Rolston *et al.*, 1996) y mantiene en sustentabilidad la llamada Empresa Agrícola.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cultivo de tomate en invernadero respondió favorablemente en los rendimientos a la aplicación de los tratamientos nitrogenados desde los 500 hasta los 750 kg N ha⁻¹, con rendimientos totales de 222.6 y 220.4 Mg ha⁻¹, y comerciales de 208.1 y 208.8 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Ninguna de las dosis evaluadas, afectó significativamente la calidad del cultivo expresada como tamaño, sólidos solubles totales, acidez titulable y relación sólidos solubles totales · acidez titulable⁻¹.

El cultivo acumuló un total de 1,003.47 g planta⁻¹, distribuyéndose el 54.2% en los frutos y el 45.8% en el follaje. La máxima tasa de acumulación de biomasa total (follaje y fruto), se presentó a los 141 días después del transplante, correspondiendo el 34% para el follaje y el 66% para el fruto.

Al final del estudio, el cultivo acumuló un total de 28.81 g de nitrógeno por planta, distribuyendo un 53.8% hacia el fruto y un 15.30 g hacia el follaje. La máxima tasa de absorción se identificó a los 141 días después del transplante (1,427 unidades calor acumuladas) con 0.35 g de nitrógeno por planta, justo cuando las temperaturas dentro del invernadero se encontraban dentro del rango adecuado para el desarrollo para el cultivo de tomate.

La concentración de N-NO₃ en extracto celular de pecíolo al final del estudio, descendió alrededor de dos veces de su valor inicial. Así mismo, se identificaron altas correlaciones entre las concentraciones de N-NO₃ en extracto celular de pecíolo y el rendimiento relativo (R² de 0.7438 a 0.9925).

Los rangos de suficiencia identificados en el extracto celular de pecíolo fueron amplios al principio de la estación de crecimiento del cultivo y estrechos al final de la misma, variando de 506 – 582 mg L⁻¹ de N-NO₃ al comienzo de la estación de crecimiento y de 201 – 210 mg L⁻¹ al final del estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andiolo, J. L., M. Witter, Dal R.T., y R. S. Godoi. 2003. Crescimento e desenvolvimento do tomateiro cultivado em substrato com reutilizacao da solucao nutritiva drenada. *Hortic. Bras.* 21(3) 485-489.
- Alcantar, G. G. y V. M. Sandoval. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo México. p. 156.
- Arshad, M. Y A. Rashid. 2001. Nitrogen uptake and dry matter production by tomato plants under salt stress. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 4(4):397-399.
- Badillo-Tovar, V, J. Z. Castellanos, P. Sanchez-Garcia, A. Galvis-Spinola, E. Alvarez-Sanchez, J. X. Uvalle-Bueno, D. Gonzalez-Eguiarte, y S. A. Enriquez-Reyes. 2001. Niveles de referencia de nitrógeno en tejido vegetal de papa var. Alpha. *Agrociencia* 35: 615-623.
- Bar-Yosef, B. y B. Sagiv. 1982. Response of tomatoes to N and water via a trickle irrigation system. I. Nitrogen. *Agronomy Journal* 74:633-637.
- Beck, M. 1997. Ecological irrigation and fertigation of soil grown plants in greenhouses. *Acta Horticulturae.* 450:413-417.
- Berenguer, J. J. 2003. Manejo del cultivo de tomate en invernadero. Memorias del Curso Internacional de Producción de Hortalizas en Invernadero. Instituto de Nacional de Investigaciones Agrícolas forestales y Pecuarias. Celaya Guanajuato, 19 al 21 de Febrero del 2003.
- Bugarín-Montoya, R., A. Galvis-Spinola, P. Sánchez-Garcia, D. García-Paredes. 2001. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. *Terra.* 20:401-409.
- Bugarín-Montoya, R., A. Galvis-Spinola, P. Sánchez-Garcia, y D. García-Paredes. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra.* 20:391-399.
- Cadahia, C. 1998. Fertirrigación en cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi Prensa. Madrid. p. 318.
- Campbell, C. R. 2000. Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States. *Southern Cooperative Series Bulletin.* [Http://www.ncarg.com/agronomi/saaesd/authors.htm#crc](http://www.ncarg.com/agronomi/saaesd/authors.htm#crc)
- Castellanos, J.Z. 1997. Las curvas de acumulación nutrimental en los cultivos hortícolas y su importancia en los programas de fertirrigación Memorias. 2º Simposium Internacional de Ferti-irrigacion. Querétaro, Querétaro, México. pp. 73-82.
- Castellanos, J. Z. J. X. Uvalle-Bueno, A. Aguilar-Santelises. 2000. Memoria del curso sobre interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. León Guanajuato, 6-8 de Abril del 2000.
- Coltman, R. R. 1987a. Sampling considerations for nitrate quick tests of greenhouse-grown tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112(6):922-927.

- Coltman, R. R. 1987b. Yield and sap nitrate responses of fresh market field tomatoes to simulated fertigation with nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*. 10(9-10)1699-1704.
- Coltman, R. R. 1988. Yields of greenhouses tomatoes managed to maintain specific petiole sap nitrate levels 23(1)148-151.
- Coltman, R. R. y S. A. Riede. 1992. Monitoring the potassium status of greenhouse tomatoes using quick petiole sap tests. *HortScience* 27(4)361-364.
- Dilon, J., S. Edinger-Marshall y J. Letey. 1999. Farmers adopt new irrigation and fertilizer techniques. *California Agriculture*. 53: 24-31.
- Dorais, M., R. Dorval, D. A. Demers, D. Micevic, G. Turcotte, X. Hao, A. A. P. Papadopoulos, D. L. Ehret y A. Gosselin. 2000. Improving tomato fruit quality by increasing salinity: effects on ion uptake, growth and yield. *Acta Horticulturae*. 511:185-195.
- Dow A. I. y S. Roberts. 1982. Proposal: critical nutrient ranges for crop diagnosis. *Agronomy Journal* 74:401-403.
- Etchevers B., J. D. 1997. Evaluación del estado nutrimental del suelo y de los cultivos ferti-irrigados. *Memorias. 2º Simposium Internacional de Fertirrigación*. Queretaro, Queretaro, México. pp. 51-60.
- Etchevers, B. J. D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra*. 17:209-219.
- Ehret, D. L. y L. C. Ho. 1986. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *J. Hortic. Sci.* 106:361-367.
- Fayad, J. A., P. C. R. Fontes, A. A. Cardoso, F. L. Finger y F. A. Ferreira. 2002. Absorcao de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condicoes de campo e de ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*. 20 (1)90-94.
- Fímbres, A., F. 2004. Tomate industrial con riego por cinta. *Terra Latinoamericana*. 22:433-436.
- Fontes, P. C. R., R. S. Arruda, y F. F. Luiz. 2000. Fruit size, mineral composition and quality of trickle-irrigated tomatoes as affected by potassium rates. *Pesq. Agropec. Bras.* 35(1) 21-25.
- Fontes, P. C. R. y C. P. Ronchi. 2002. Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solution determined by different statistical procedures. *Pesq. Agropec. Bras.* 37(10) 1421-1429.
- Fontes, P. C. R., E. L. Coelho y A. A. Cardoso. 2003. Petiole sap nitrate and leaf nitrogen critical values in melon plants grown in unheated greenhouse and field conditions. *Journal of Plant Nutrition*. 26(7) 1403-1411.
- Gastal, F. y G. Lemaire. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*. 370 (53) 789-799.
- González, M. A. y B. L. Hernández. 2000. Estimación de las necesidades hídricas del tomate. *Terra* 18(1):45-48.

- Grijalva, C. R. L., y F. R. Contreras. 2003. Avances en la producción de hortalizas en invernadero. En: Día de Campo 2003. Publicación Técnica Núm. 7. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo Experimental Caborca.
- Grierson, D. y A.A. Kader. 1986. Fruit ripening and quality. En: J.G. Atherton y J. Rudich eds, *The tomato crop: a scientific basis for improvement*. Chapman & Hall, New York. pp. 241-280
- Gul, A., Y. Tuzel, H. Hakerlerler, N. Saatci y D. Anac. 1996. Effect of different nitrogen rates on some quality parameters of greenhouse tomato. *Acta Horticulturae*. 434:103-110.
- Hartz, T.K., M. LeStrange, y D. M. May. 1994a. Tomatoes respond to simple drip irrigation schedule and moderate nitrogen inputs. *California Agriculture*. 48: 28-31.
- Hartz, T.K., R. F. Smith, K. F. Schulbach, y F. M. LeStrange. 1994b. On-farm nitrogen tests improve fertilizer efficiency, protect groundwater. *California Agriculture*. 48: 29-32.
- Heuvelink, E. Y R. P. M. Buischool. 1995. Influence of sink-source on dry matter production in tomato. *Annals of Botany*. 75:381-389.
- Heuvelink, E. 1996. Dry matter partitioning in tomato: validation of dynamic simulation model. *Annals of Botany*. 77:71-80
- Heuvelink, E. 1999. Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development. *Annals of Botany*. 83:413-422
- Hochmuth, G. J. 1994a. Plant petiole sap-testing guide for vegetable crops. Florida Cooperative Extension Service. Special Series. Circular 1144. p 21.
- Hochmuth, G. J. 1994b. Efficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. *HortTechnology* 4(3):218-222.
- Ho, L. C. 1995. Carbon Partitioning and metabolism in relation to plant growth and fruit production in tomato. *Acta Horticulturae*. 414:396-409.
- Ho, L. C. 1996. Tomato. En: Eli Zamski and Arthur A. Shaffer eds. *Photosynthates Distribution in Plants and Crops Source-Sinks Relationships*. Marcel Dekker, Inc New York. pp:709-728.
- Hobson, G. E., y J. N. Davies. 1971. Tomato. En: *The Biochemistry of fruits and their products*, Vol. II. Hulme, A. C. eds. Academic London, New York. pp:437-487.
- Holland, D. A. 1983. Maximizing the effectiveness of a plant analysis unit. *J. Hortic. Sci.* 58:291-294.
- Huett, D. C. y E. B. Dettmann. 1988. Effect of nitrogen on growth, fruit quality and nutrient uptake of tomatoes grown in sand culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 28:391-399.
- Huett, D. C. y G. Rose. 1988. Diagnostic nitrogen concentrations for tomatoes grown in sand culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 28:401-409.

- Imas, P. 1999. Recent techniques in fertigation of horticultural crops in Israel. Workshop on recent trends in nutrition management in horticultural crops. Dapoli, Maharashtra, India. 11-12 of February.
- Ismail, R. M. y A. Rashidah. 1997. Differential growth and yield responses of tomato plants grown in different solution concentrations using nutrient film technique and sand culture. *Acta Horticulturae*. 450:449-455.
- Jones, J. B. 1998. Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden. CRC. Boca Raton. U.S.A. . p. 200.
- Kader, A. A., L. L. Morris, M. A. Stevens, y M. Albright-Olton. 1978. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103(1):6-13.
- Kläring, H. P. 2001. Strategies to control water and nutrient supplies to greenhouse crops. A review. *Agronomie*. 21:311-321.
- Matthäus D. y C. Gysi. 2001. Plant-Sap analysis in vegetables – a tool decide on nitrogen top dressing. *Acta Horticulturae*. 563:93-102.
- Méndez, F. 1995. Efecto de cuatro frecuencias de riego sobre el comportamiento de dos variedades de tomate en un suelo aridisol. *Agronomía Tropical* 45:571-594.
- Minero, A. 2004. Tendencias del mercado: Análisis de la superficie, los cultivos y la tecnología del sector de invernaderos. *Productores de Hortalizas*. Agosto. 14-16.
- Mikkelsen, R.L. 2005. Tomato flavor and plant nutrition: a brief review. *Better crops* 89(2):14-15.
- Millar, P., W. Lanier, y S. Brandt, 2001. Using growing degree days to predict plant stages. Montana State University Extension Service. *Montguide*. MT200103 AG 7/2001. 8 p.
- Mohd, R. Ismael y R. Ahmad. 1997. Differential growth and yield responses of tomato plants grown in different solution concentrations using nutrient film technique and sand culture. *Acta Horticulturae*. 450:449-455.
- Muñoz, R. J. J. y J. Z. Castellanos. 2003. Manual de producción hortícola en invernadero. Editorial INCAPA. 342 p.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. 793.p.
- Oliveira, M.N.S., M.A. Oliva, C.A. Martinez, y M.A.P. Silva. 2003. Variacao diurna e sazonal do pH e composicao mineral da seiva do xilema em tomateiro. *Hortic. Bras.* 21(1): 10-14.
- Ortega-Farias, S., J. Márquez, Valdez, H. y J. H. Paillán. 2001. Efecto de cuatro láminas de agua sobre el rendimiento y calidad de tomate (*Lycopersicon esculentum* L. Mill. Cv. FA-144) de invernadero producido en otoño. *Agric. Tec.* 614(479-487).
- Papadopoulos A. P. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and soilless media. Agriculture Canada Publication 186/E, Communications Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Canada. Pp. 80.
- Papadopoulos A. P. 1996. Seasonal fertigation schedules for greenhouse tomatoes-concepts and delivery systems. *Acta Horticulturae*., 18: 158-162.

- Pertierra, R. J., Java, J., Suarez M. V., Celis, J. y F. Reyes. 2000. Tomate (*Lycopersicon esculentum* L. Mill.) de invernadero bajo dos regímenes hídricos. Ciencia e Investigación Agraria. 23(161-168).
- Rolston D. E., G. E. Fogg, D. L. Decker, D. T. Louie, y M. E. Grismer. 1996. Nitrogen isotope ratios identify nitrate contamination sources. California Agriculture. 50: 32-36.
- Rosen, C. J., M. Errebhi y W. Wang. 1996. Testing petiole sap for nitrate and potassium: A comparison of several analytical procedures HortScience. 31(7):1173-1176.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericano. S.A. de C.V. México. pp. 759.
- Sanchez, C. A., y T. A. Doerge. 2000. Using nutrient uptake patterns to develop efficient nitrogen management strategies for vegetables. American Society for Horticultural Science 21:236-240.
- Sato, S., M. M. Peet, y J. F. Thomas. 2002. Determining critical pre- and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. exposed to moderately elevated temperatures. Journal of Experimental Botany 53:1187-1195.
- Schwartz, D. y H-P., Kläring. 2001. Allometry to estimate leaf area of tomato. Journal of Plant Nutrition. 24(8), 1291-1309.
- Scholberg, J., B.L. MacNeal, J.W., Jones, K.J. Boote, C.D. Stanley, y T.A. Obreza 2001a. Growth and canopy characteristics of field-grown tomato. Agronomy Journal 92:152-159.
- Scholberg, J., B.L. MacNeal, J.W., Jones, K.J. Boote, C.D. Stanley, y T.A. Obreza 2001b. Nitrogen stress effects on growth and nitrogen accumulation by field-grown tomato. Agronomy Journal 92:152-159.
- Stark, J. C. W. M. Jarrel, J. Letey y N. Valoras. 1983. Nitrogen use efficiency of trickle-irrigated tomatoes receiving continuous injection of N. Agronomy Journal 75:672-676.
- Stevens, M. A. y C.M. Rick. 1986. Genetics and breeding. In the tomato crop. Chapman and Hall. London. pp 640 .
- Taber, H. G. 2001. Petiole nitrate sufficiency values for fresh market tomato production. J. Plant Nutr. 24:945-959.
- Tanaka, A. F. K. 1974. Nutrio-physiological studies on the tomato plant. IV. Source-sink relationship and structure of the source-sink unit. Soil Science and Plant Nutrition. 20:305-3015.
- Thompson, T. L., T. A. Deorge, y R. E. Godin. 2000a. Nitrogen and water interactions in subsurface drip-irrigated cauliflower: I. Plant response. Soil Science Society of American Journal 64:406-411.
- Thompson, T. L., T. A. Deorge, y R. E. Godin. 2000b. Nitrogen and water interactions in subsurface drip-irrigated cauliflower: 2. Agronomic, economic, and enviromental outcomes. Soil Science Society of American Journal 64:412-418.

- Wolf, S., J. Rudich, A. Marani, y Y. Rekah. 1986. Predicting harvest date of processing tomatoes by simulation model. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 111:11-16.
- Zambrano, J., J. Moyeja y L. Pacheco. 1995. Efecto del estado de la madurez en la composición de frutos de tomate. *Agronomía Tropical.* 46(1):61-72.

APÈNDICE

Cuadro 17. Análisis químico del agua pozo: REB-1 del Campo Experimental Caborca.

Análisis químico de agua		
Campo: <u>CECAB</u>		Pozo: <u>REB-1</u>
Características de salinidad y sodicidad		
CE (dS/m)		811.8
pH		7.74
Sólidos Disueltos (ppm)		519.55
RAS		2.16
Cationes y aniones	Meq/L	ppm
Ca	3.29	65.9
Mg	1.35	16.4
Na	3.29	75.6
K	0.12	4.5
N-NO3	.	2.0
Carbonatos	0	0
Bicarbonatos	3.6	219.7
Cloro	4.0	141.8
Sulfatos	0.5	24.9

Cuadro 18. Análisis de varianza de cuatro tratamientos nitrogenados y su efecto sobre el rendimiento total de tomate de invernadero.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	32.039551	10.679851	4.3854	0.036
Bloques	3	0.532715	0.177572	0.0729	0.973
Error	9	21.917969	2.435330		
Total	15	54.490234			

C.V. = 7.28%

Cuadro 19. Análisis de varianza de cuatro tratamientos nitrogenados y su efecto sobre el rendimiento comercial de tomate de invernadero.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	42.215332	14.071777	5.1611	0.024
Bloques	3	2.362793	0.787598	0.2889	0.833
Error	9	24.538574	2.726508		
Total	15	69.116699			

C.V. = 8.56%

Cuadro 20. Análisis de varianza de la variable sólidos solubles totales (°Brix) en tomate de invernadero, en cosecha efectuada el 6 de febrero del 2004.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	0.554382	0.184794	0.7668	0.543
Bloques	3	0.434113	0.144704	0.6004	0.633
Error	9	2.169067	0.241007		
Total	15	3.157562			

C.V. = 14.46%

Cuadro 21. Análisis de varianza de la variable sólidos solubles totales (°Brix) en tomate de invernadero, en cosecha efectuada el 11 de marzo del 2004.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	0.216278	0.072093	0.6505	0.605
Bloques	3	0.661285	0.220428	1.9889	0.186
Error	9	0.997467	0.110830		
Total	15	1.875031			

C.V. = 7.70%

Cuadro 22. Análisis de varianza de la variable acidez titulable (% ácido cítrico) en tomate de invernadero, en cosecha realizada el 6 de febrero del 2004.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	0.018269	0.006090	1.3803	0.310
Bloques	3	0.003069	0.001023	0.2319	0.872
Error	9	0.039706	0.004412		
Total	15	0.061044			

C.V. = 19.64%

Cuadro 23. Análisis de varianza de la variable acidez titulable (% ácido cítrico) en tomate de invernadero, en cosecha realizada el 11 de marzo del 2004.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	0.003275	0.001092	1.3887	0.308
Bloques	3	0.005025	0.001675	2.1309	0.166
Error	9	0.007075	0.000786		
Total	15	0.015375			

C.V. = 8.53%

Cuadro 24. Análisis de varianza de la variable relación sólidos solubles totales · acidez titulable-1 en tomate de invernadero, en cosecha realizada el 6 de febrero del 2004.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	20.97937	6.993124	0.9946	0.560
Bloques	3	2.443359	0.814453	0.1158	0.948
Error	9	63.279419	7.031046		
Total	15	86.702148			

C.V. = 24.85%

Cuadro 25. Análisis de varianza de la variable relación sólidos solubles totales · acidez titulable⁻¹ en tomate de invernadero, en cosecha realizada el 11 de marzo del 2004.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	3	5.798340	1.932780	1.0631	0.413
Bloques	3	17.827881	5.942627	3.2686	0.073
Error	9	16.362793	1.818088		
Total	15	39.989014			

C.V. = 10.17%