

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Acondicionamiento Nutricional ( $\text{NO}_3$  - K) de Plántula de Tomate  
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Invernadero Hidropónico**

**Por:**

**EDUARDO HERRERA MARTÍNEZ**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para**

**Obtener el Título de:**

**Ingeniero Agrónomo en Horticultura**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Diciembre del 2006**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**

**Acondicionamiento Nutricional (NO<sub>3</sub> - K) de Plántula de Tomate  
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Invernadero Hidropónico**

**Presentada por:**

**EDUARDO HERRERA MARTÍNEZ**

**TESIS**

**Presentado como Requisito para Obtener el Título de  
Ingeniero Agrónomo en Horticultura**

---

**M.C. Leticia Escobedo Bocardo**

**Presidente de Jurado**

---

**M.C. Ricardo Requejo López**

**Sinodal**

---

**Dr. Juan P. Munguía López**

**Sinodal**

---

**MC. Francisca Ramírez Godina**

**Sinodal**

---

**M.C. Arnoldo Oyervides García**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Diciembre del 2006**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Por brindarme la oportunidad de formarme académicamente.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada, Por permitir realizar mi trabajo de tesis de licenciatura dentro de un proyecto de investigación del departamento de Plásticos en la Agricultura financiado por los fondos Sectoriales CONACYT-SAGARPA.

Al Dr. Juan P. Munguía López, por incluirme dentro de su trabajo de investigación y sobre todo por su apoyo, su comprensión, sus consejos y paciencia.

Al M. C. Ricardo Requejo López, por darme la oportunidad de participar en su proyecto, por sus enseñanzas, sus consejos, su comprensión, su confianza, y su paciencia, sin su apoyo este trabajo no hubiese sido posible. De corazón mil gracias.

A la M. C. Leticia Escobedo Bocardo, por sus sugerencias en la realización de este trabajo.

A la M. C. Francisca Ramírez Gomina. Por su apoyo en este escrito.

Al Ing. Felipe Hernández Castillo. Por su colaboración activa en el presente trabajo de investigación.

A mis padres y hermanos por darme alientos cuando mas los necesité y por ser mi inspiración y mi fortaleza, les agradezco me que apoyan en todas mis decisiones.

## **DEDICATORIAS.**

*“Cuando la higuera da fruto, si el fruto es malo, el árbol es pésimo”*

Este trabajo se lo dedico muy sinceramente a:

A mis padres:

Pedro Herrera Briones.

Flora Martínez Morales.

Jamás habré recibido regalo más precioso en toda mi vida que su amor, se que no les puedo agradecer mas que con mis acciones, que los hagan sentirse orgullosos de las enseñanzas que me han dado. Sepan que los amo como ustedes a mi y mis hermanos que son el mejor ejemplo a seguir en la vida y que siempre podrán contar conmigo, gracias por heredarme la educación.

A mis hermanos:

Rubén, Ma. Georgina, Ma. Angeles, Juan Daniel, Ma. Guadalupe.

Que Dios nos guarde y que lleguemos a cumplir todas nuestras metas de la vida. Hagamos nuestro mejor esfuerzo.

A mis amigas y amigos:

Rocío Dorantes G.

Lucía, Raquel, Daniel, Guillermo, Pompeyo, Ricardo, etc.

Gracias por que con su amistad hicieron más placentera esta etapa de mi vida.

## ÍNDICE DE GENERAL

	Pag.
AGRADECIMIENTOS_____	III
DEDICATORIAS. _____	IV
ÍNDICE DE CUADROS_____	IX
ÍNDICE DE FIGURAS_____	XIII
I. INTRODUCCIÓN_____	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA _____	3
2.1 Generalidades del Cultivo _____	3
2.1.1 Origen e Historia_____	3
2.1.2 Clasificación Taxonómica _____	4
2.2 Requerimientos Agronómicos de Plántula de Tomate _____	4
2.2.1 Temperatura _____	4
2.2.2 Fotoperíodo_____	5
2.2.3 Humedad Relativa _____	5
2.3 Importancia de la Producción de Plántula _____	6
2.4 Métodos de Producción de Plántula de Tomate _____	6
2.4.1 Fertilización Foliar_____	6
2.4.2 Sub-Irrigación _____	7
2.5 Características de Calidad de Plántulas de Tomate _____	8
2.6 Acondicionamiento de Plántulas _____	9
2.6.1 Métodos físicos_____	9
2.6.1.1 Acondicionamiento mecánico _____	9
2.6.1.2 Acondicionamiento Luminoso _____	10
2.6.1.3 Acondicionamiento Térmico _____	10
2.6.2 Métodos Químicos _____	11
2.6.2.1 Reguladores de Crecimiento_____	11
2.6.2.2 Acondicionamiento Hídrico _____	11
2.6.2.3 Acondicionamiento Nutricional_____	12
2.6.3 Nitrógeno_____	13

2.6.3.1	Funciones del nitrógeno en las Plantas _____	13
2.6.3.2	Nitrato (NO <sub>3</sub> ) _____	13
2.6.3.3	Amonio (NH <sub>4</sub> ) _____	14
2.6.4	Potasio. _____	14
2.6.4.1	Funciones del potasio en las Plantas _____	15
2.7	Trabajos Realizados con Nitratos y Potasio _____	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS _____	19
3.1	Localización Geográfica del Sitio Experimental _____	19
3.2	Características de Área Experimental _____	19
3.2.1	Temperatura, Humedad Relativa y Radiación. _____	19
3.3	Descripción del Material Experimental _____	20
3.3.1	Material Vegetativo _____	20
3.3.2	Hibrido “Gabriela” _____	20
3.3.3	Agua de riego. _____	21
3.3.4	Charolas _____	21
3.3.5	Sustrato _____	21
3.3.6	Equipo Usado _____	23
3.4	Diseño Experimental _____	24
3.4.1	Diseño Experimental _____	24
3.4.2	Descripción de Tratamientos _____	24
3.4.3	Características de la Unidad Experimental _____	25
3.5	Establecimiento del Experimento _____	25
3.5.1	Preparación de Sustrato _____	25
3.5.2	Llenado de Charolas _____	26
3.5.3	Siembra _____	26
3.5.4	Preparación de la Solución Nutritiva _____	26
3.6	Conducción del Experimento _____	26
3.6.1	Aplicación de Tratamientos _____	26
3.6.1.1	Frecuencia de Riego _____	26
3.6.1.2	Concentración de la Solución Nutritiva _____	27
3.6.2	Control de Humedad Relativa _____	27

3.6.3	Control de Temperatura _____	27
3.6.4	Control de Plagas y Enfermedades _____	28
3.7	Variables Evaluadas _____	28
3.7.1	Altura de Plántulas _____	28
3.7.2	Diámetro de Vástago _____	28
3.7.3	Relación Altura de plántula/diámetro de Vástago _____	28
3.7.4	Número de Hojas _____	29
3.7.5	Area Foliar _____	29
3.7.6	Volumen de Raíz _____	29
3.7.7	Longitud de Raíz _____	29
3.7.8	Peso Seco de Vástago y Raíz _____	29
3.7.9	Nitrato ( $\text{NO}_3^{-1}$ ) en Jugo Celular _____	30
3.7.10	Potasio ( $\text{K}^{+1}$ ) en Jugo Celular _____	30
3.7.11	Índice de Clorofila _____	30
3.7.12	Tasa Fotosintética, Resistencia Estomática y Transpiración ____	30
3.7.13	Densidad de estomas _____	31
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	32
4.1	Condiciones ambientales durante el desarrollo del experimento ____	32
4.1.1	Temperatura _____	32
4.1.2	Humedad relativa _____	33
4.1.3	Radiación _____	34
4.2	Altura de Plántulas _____	36
4.3	Diámetro de Vástago _____	37
4.4	Relación Altura de plántula/diámetro de Vástago _____	38
4.5	Número de Hojas _____	39
4.6	Área Foliar _____	40
4.7	Volumen de Raíz _____	41
4.8	Longitud de Raíz _____	42
4.9	Peso Seco de Vástago y Raíz. _____	43
4.10	$\text{NO}_3^{-1}$ en Jugo Celular _____	45
4.11	K en Jugo Celular _____	46

4.12	Índice de Clorofila	47
4.13	Tasa Fotosintética	48
4.14	Resistencia Estomática	49
4.15	Transpiración	50
4.16	Densidad de estomas	51
V.	CONCLUSIONES	52
VI.	LITERATURA CITADA	53
VII.	APÉNDICE	59

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 2.1 Métodos de acondicionamiento de plántulas. _____	9
Cuadro 3.1 Resultados del análisis químico del agua “Sierra Azul ®” _____	21
Cuadro 3.2 Características físicas y químicas del sustrato Turba (peat moss) PREMIER-PROMIX ® Options _____	22
Cuadro 3.3 Descripción de Tratamientos _____	24
Cuadro 3.4 Descripción de la solución Nutritiva propuesta por Cadahia (1998) _____	25
Cuadro 7.1 Análisis de varianza para altura de plántula. _____	59
Cuadro 7.2 Comparación de medias correspondiente a nitrato para altura de plántula _____	59
Cuadro 7.3 Análisis de varianza para diámetro de vástago _____	59
Cuadro 7.4 Comparación correspondiente a nitrato para diámetro de vástago _____	60
Cuadro 7.5 Análisis de varianza para relación altura de plántula/diámetro de vástago _____	60
Cuadro 7.6 Comparación de medias correspondiente a nitrato para la relación altura de plántula/diámetro de vástago _____	61
Cuadro 7.7 Análisis de varianza para número de hojas _____	61
Cuadro 7.8 Comparación de medias correspondiente a nitrato para número de hojas _____	61
Cuadro 7.9 Análisis de varianza para área foliar. _____	62
Cuadro 7.10 Comparación de medias correspondiente a nitrato para área foliar _____	62
Cuadro 7.11 Comparación de medias correspondiente a potasio para área foliar. _____	62
Cuadro 7.12 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 1 de nitrato para área foliar _____	63
Cuadro 7.13 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 2 de nitrato para área foliar _____	63

Cuadro 7.14 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 3 de nitrato para área foliar _____	63
Cuadro 7.15 Análisis de varianza para volumen de raíz. _____	64
Cuadro 7.16 Comparación de medias correspondiente a nitrato para volumen de raíces _____	64
Cuadro 7.17 Análisis de varianza para longitud de de raíz _____	64
Cuadro 7.18 Análisis de varianza para peso seco de vástago _____	65
Cuadro 7.19 Comparación de medias correspondiente a nitrato para peso seco de vástago _____	65
Cuadro 7.20 Análisis de varianza para peso seco de raíz. _____	66
Cuadro 7.21 Comparación de medias correspondiente a nitrato para peso seco de raíz. _____	66
Cuadro 7.22 Análisis de varianza para nitratos en jugos celulares _____	66
Cuadro 7.23 Comparación de medias correspondiente a nitrato para nitratos en jugos celulares _____	67
Cuadro 7.24 Comparación de medias correspondiente a potasio para la nitratos en jugos celulares _____	67
Cuadro 7.25 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 1 de nitrato para nitratos en jugos celulares _____	67
Cuadro 7.26 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 2 de nitrato para la nitratos en jugos celulares _____	68
Cuadro 7.27 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 3 de nitrato para la variable nitratos en jugos celulares _____	68
Cuadro 7.28 Análisis de varianza para potasio en jugos celulares _____	68
Cuadro 7.29 Comparación de medias correspondiente a potasio para potasio en jugos celulares _____	69
Cuadro 7.30 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 1 de de nitrato para potasio en jugos celulares _____	69
Cuadro 7.31 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 2 de nitrato para potasio en jugos celulares _____	70

Cuadro 7.32 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 3 de nitrato para potasio en jugos celulares _____	70
Cuadro 7.33 Análisis de varianza para índice de clorofila SPECTRUM ____	70
Cuadro 7.34 Comparación de medias correspondiente a nitratos para índice de clorofila SPECTRUM _____	71
Cuadro 6.35 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 1 de nitrato para índice de clorofila SPECTRUM _____	71
Cuadro 7.36 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 2 de nitrato para índice de clorofila SPECTRUM _____	71
Cuadro 7.37 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 3 de nitrato para índice de clorofila SPECTRUM _____	72
Cuadro 7.38 Análisis de varianza para tasa fotosintética. _____	72
Cuadro 7.39 Comparación de medias correspondiente a nitrato dentro del nivel 1 de potasio para tasa fotosintética _____	73
Cuadro 7.40 Comparación de medias correspondiente a nitrato dentro del nivel 2 de potasio para tasa fotosintética _____	73
Cuadro 7.41 Comparación de medias correspondiente a nitrato dentro del nivel 3 de potasio para tasa fotosintética _____	73
Cuadro 7.42 Análisis de varianza para resistencia estomática al flujo de gases. _____	74
Cuadro 7.43 Comparación de medias correspondiente a nitrato para resistencia estomática al flujo de gases. _____	74
Cuadro 7.44 Análisis de varianza para transpiración _____	74
Cuadro 7.45 Comparación de medias correspondiente a nitrato para transpiración _____	75
Cuadro 7.46 Comparación de medias correspondiente a potasio para transpiración _____	75
Cuadro 7.47 Análisis de varianza para densidad de estomas _____	75
Cuadro 7.48 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 1 de nitrato para densidad de estomas _____	76

Cuadro 7.49 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 2 de nitrato para densidad de estomas _____	76
Cuadro 7.50 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 3 de nitrato para densidad de estomas _____	77
Cuadro 7.51 Valores de coeficientes de correlación para algunas variables de interés _____	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 4.1 Temperatura del aire registrada durante el tiempo de producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela. ....	32
Figura 4.2 Temperaturas medias del aire registradas durante el tiempo de producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela. ....	32
Figura 4.3 Humedad Relativa registrada durante la producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela. ....	33
Figura 4.4 Humedad relativa promedio durante la producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela. ....	34
Figura 4.5 Radiación registrada durante la producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela. ....	34
Figura 4.6 Radiación promedio durante la producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela. ....	35
Figura 4.7 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para altura de plántula. ....	36
Figura 4.8 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para diámetro de vástago. .	37
Figura 4.9 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para la relación altura de plántula/diámetro de vástago. ....	38
Figura 4.10 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para número de hojas. ...	39
Figura 4.11 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para área foliar. ....	40
Figura 4.12 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para volumen de raíz. ....	41
Figura 4.13 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para longitud de raíz. ....	42
Figura 4.14 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para peso seco de vástago. ....	43
Figura 4.15 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para peso seco de raíz. ....	44
Figura 4.16 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para nitratos en jugos celulares. ....	45
Figura 4.17 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para potasio en jugos celulares. ....	46

Figura 4.18 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para índice de clorofila SPECTRUM.....	47
Figura 4.19 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para tasa fotosintética....	48
Figura 4.20 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para resistencia estomática al flujo de gases. ....	49
Figura 4.21 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para transpiración. ....	50
Figura 4.22 Efecto de la interacción $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$ para densidad de estomas. .....	51

## I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum*) es uno de los cultivos hortícolas con mayor área cultivada y producción global. México ocupa el noveno puesto en la producción con 12.7 millones de toneladas. En cuanto a la exportación de tomate fresco. España, los Países bajos y México se discuten las tres primeras posiciones en cifras que rondan mil millones de dólares (FAO 2004)

En México el tomate es la segunda especie hortícola más importante por superficie sembrada, se encuentra en los mercados durante todo el año, su fruto se consume tanto fresco como procesado y es una fuente rica de vitaminas. A pesar de cultivarse en 27 Estados de México solo cinco concentran en promedio el 74.2% de la producción, destacándose Sinaloa como el principal productor, seguido por Baja California, San Luís Potosí, Jalisco y Nayarit. Es uno de los cultivos de mayor valor económico e importancia social por la cantidad de mano de obra que demanda. Actualmente se cuenta con cultivares de tomate altamente rendidores, por lo que es la especie que más se cultiva en invernadero y con sistemas hidropónicos en el mundo (SAGARPA, 2002).

En México se produce tomate en invernadero en una superficie de 3750 ha por lo cual es necesario desarrollar plántulas para este agrosistema por lo que anualmente se requieren 94 millones de trasplantes para satisfacer la demanda de la producción

Para conseguir un crecimiento satisfactorio de las plántulas en los pequeños alvéolos de una charola de semillero, es necesario un suministro adecuado y constante de elementos nutrimentales al medio de cultivo. El acondicionamiento nutrimental en plántulas se ha practicado con éxito en especies tales como apio (*Apium graveolens* L.), brócoli (*Brassica oleraceae* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.) y tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) entre otras.

En el mercado nacional e internacional la producción de plántulas de tomate, el objetivo fundamental es buscar la calidad, con plántulas de tamaño compacto, tallo robusto, color verde intenso, sistema radical bien formado, vigorosas, libres de enfermedades de plagas y que se extraigan de las celdas de las charolas germinadoras sin sufrir daños; en pocas palabras se atiende el aspecto fenotípico o calidad percibida. Al definir la calidad de una manera más objetiva, además del aspecto externo habría que evaluar los atributos de la planta que son favorables para obtener una mayor producción, lo que permitirá lograr los precios más altos del mercado. Para evaluar los atributos se asignan valores a los órganos que constituyen la plántula: raíz tallo y hojas; relacionando parámetros fácilmente medibles en el semillero con la respuesta que esta planta tiene en cultivo una vez trasplantada al invernadero. (Domingo, 2000).

En base a lo anterior, se plantean los siguientes objetivos.

## OBJETIVO

Evaluar el efecto de tres niveles de  $\text{NO}_3^{-1}$  y de  $\text{K}^{+1}$  en la solución nutritiva sobre variables agronómicas y fisiológicas de tomate del híbrido Gabriela.

Generar técnicas de diagnóstico indicativas de la mayor calidad de plántula de tomate

## HIPÓTESIS

Los diferentes niveles de  $\text{NO}_3^{-1}$  y de  $\text{K}^{+1}$  en la solución nutritiva no generarán cambios morfológicos y fisiológicos en la plántula de tomate, por lo que no afectará la calidad de la misma.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 *Generalidades del Cultivo*

#### 2.1.1 Origen e Historia

Origen: El centro primario de origen del tomate es el “Genocentro Sudamericano” que comprende las regiones situadas a lo largo de la cordillera de los andes. Se considera que la forma primitiva de *Lycopersicon esculentum* Mill es la variedad Ceraciforme (tomate cereza) originario de la región del Perú-Ecuador, de donde se difundió a toda América tropical en las épocas precolombinas. La gran diversidad varietal encontrada en la zona de Veracruz-Puebla permite considerar a México como el centro de origen del tomate cultivado de fruto grande (Servicio de Información y Censo Agropecuario SICA, 2005).

La evidencia histórica favorece a México como centro de origen, ya que su uso de manera doméstica tiene bastante antigüedad y sus frutos ya eran conocidos y empleados como alimento para las culturas indígenas que habitaban la parte central y sur de México antes de la llegada de los españoles (León, 1980)

Historia: A inicios de la historia del hombre el tomate se cultivó exclusivamente como planta ornamental y no se consideraba un alimento normal de los indios americanos, el descubrimiento de su notable riqueza vitamínica, junto con su agradable gusto y color, popularizaron rápidamente su consumo, hasta que llegó a ocupar el segundo lugar en importancia mundial entre las hortalizas (SICA, 2005).

### 2.1.2 Clasificación Taxonómica

Villarreal, (2005), describe la clasificación más actual y aceptada del tomate de la siguiente manera:

Reino	Metaphyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Lycopersicon</i>
Especie	<i>esculentum</i> Mill

## 2.2 Requerimientos Agronómicos de Plántula de Tomate

### 2.2.1 Temperatura

Cárdenas et al. (2003) mencionan que las temperaturas para el cultivo de tomate en relación a su estado fenológico son las siguientes:

Mínima de germinación: 10°C

Optima de germinación: 25 a 30°C

Máxima de germinación: 35°C

Optima de emergencia: 18°C

Optima en desarrollo de primeras hojas verdaderas: 12°C

Desarrollo diurno: 18 a 21°C

Desarrollo nocturno: 15 a 18°C

Mínima letal: 2°C

Cero biológico: 10 a 15°C

Optima en desarrollo: 20 a 24°C

### **2.2.2 Fotoperíodo**

Durante su desarrollo en etapa de plántula, es insensible a las horas luz, sin embargo Vásquez (2006), menciona que en etapa de plántula, el cultivo requiere aproximadamente 80 Watts después las necesidades irán aumentando.

En etapa de desarrollo vegetativo, el cultivo de tomate es insensible al fotoperíodo; requiere entre 8 y 16 horas luz, necesita buena iluminación (de 3000 – 6000 lux). Poca iluminación reduce la capacidad fotosintética neta, e implica mayor competencia por los productos fotosintéticos, con una influencia negativa en el desarrollo y producción (Nuez, 1995).

### **2.2.3 Humedad Relativa**

La mayor parte del agua absorbida por la planta se pierde en forma de vapor de agua y a este fenómeno se le conoce como transpiración. Del resto, una pequeña parte es retenida para cubrir las necesidades de crecimiento de las partes jóvenes de la planta y engrosar frutos, otra parte más pequeña se utiliza en la fotosíntesis y otra es empleada como medio dispersante y de transporte en la planta (Hernández, 1998).

La humedad para la producción de plántula debe ser de 90-95%, la cual debe ir disminuyendo conforme se acerca el trasplante. Si aumenta la humedad atmosférica, disminuye la transpiración. La humedad atmosférica favorece la mayor apertura estomática, con lo que en cierto modo podría incrementar la transpiración. De estos efectos siempre predomina el primero y en realidad disminuye la velocidad de transpiración, favoreciendo en cambio la entrada de CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis (Hernández, 1998).

### **2.3 Importancia de la Producción de Plántula**

Centeno (1986), designa el término plántula a la planta pequeña producida por semilla, de pocas semanas de edad y que se utiliza en los cultivos de trasplante para establecer el cultivo definitivo en campo.

El cultivo de plántulas, es necesario para producir plantas que resistan los rigores del manejo de trasplante, sobrevivan al estrés del movimiento de ambientes protegidos hacia ambientes de campo abierto, queden establecidas y reinicien el crecimiento activo inmediatamente después del trasplante y produzcan rendimientos aceptables sin reducciones o retrasos comparados con métodos alternativos de establecimiento (Latimer y Beverly, 1993).

### **2.4 Métodos de Producción de Plántula de Tomate**

#### **2.4.1 Fertilización Foliar**

Es un sistema que se caracteriza por aplicar el agua en un punto específico en forma de lluvia fina o de niebla, permite uniformidades de riego muy altas, es excelente para usarse en sistemas de fertirrigación, también es usado para combate de heladas. Con este tipo de riego se puede aplicar la fertilización foliar, otra forma en que se puede abastecer a las plantas con nutrimentos y es una práctica agronómica de simple aplicación, la cual no ha sido plenamente aprovechada para los cultivos, ya que es eficiente para corregir desórdenes nutrimentales y para lograr un adecuado nivel nutrimental en las plantas. La cantidad de nutrimentos requeridos vía follaje es menor que cuando se aplica vía edáfica; así al utilizar menor cantidad de fertilizantes, se reduce el riesgo de contaminación ambiental por nitratos y otros agroquímicos (Gray, 1997).

## 2.4.2 Sub-Irrigación

El término sub-irrigación, se entiende como la provisión de agua a la zona radicular de las plantas por debajo de la superficie del suelo con la finalidad de asegurar una combinación adecuada de agua y aire en la zona radical (Achitnich, 1972).

Al usar sub-irrigación se persigue cubrir la demanda nutrimental del cultivo, ya que se minimizan las pérdidas por lixiviación, el porcentaje de agua absorbido por las plántulas y evitando en lo posible la contaminación de acuíferos, sobre todo por  $\text{NO}_3$ , generado por el uso inadecuado y excesivo de fertilizantes químicos (Achnich, 1972).

Ventajas del sistema de riego por sub-irrigación:

- El agua y los nutrientes, son distribuidos directamente cerca del sistema radicular, favorecen el sano crecimiento de las plantas y reducen el estrés de las mismas.
- El follaje se mantiene seco reduciendo así las enfermedades fúngicas favorecidas especialmente por la irrigación en la superficie y se eliminan las manchas sobre frutos y hojas, causadas por la irrigación arriba de la copa.
- Los productos químicos llegan directamente al sistema radicular de las plantas disminuyendo las cantidades utilizadas y reduciendo al mínimo la contaminación ambiental.
- Las partículas más pequeñas del sustrato no son deslavadas, disminuyendo por tanto la compactación del mismo y favoreciendo el crecimiento de las raíces.
- La distribución más fácil de los fertilizantes, el mejor control de las enfermedades y el menor mantenimiento implican reducción de mano de obra.

## **2.5 Características de Calidad de Plántulas de Tomate**

La producción de plántulas de trasplante consiste en el uso de insumos de calidad según se trate (semilla, sustratos, fertilizantes, pesticidas, etc.) así como el manejo agronómico que estas reciban. El empleo de semilla certificada, sustrato adecuado, manejo integrado de plagas y enfermedades, control ambiental y sistemas de fertirriego, permiten al final del ciclo obtener una plántula de mayor calidad (Gomez, 1988, Minero, 1998), de altura uniforme y tallos fuertes, que resista el manejo y estrés al momento de trasplante (Leskovar y Stoffella, 1995).

Navarrete et. al. (1997), mencionan que el criterio para evaluar el vigor de las plántulas de tomate es evaluar las variables agronómicas como área foliar, peso seco de plántula, diámetro de tallo, salud radical y color de follaje, al igual que en melón, donde número de hojas y área foliar son las variables más apropiadas. Dumas (1990), encontró que en tomate había una fuerte correlación entre peso seco de de parte aérea y área foliar, mientras que Leskovar, (1990), menciona que la relación entre materia seca la parte aérea y raíces en torno a 3 indica la capacidad competitiva de regiones de demanda y el estado fisiológico de la planta.

Es muy importante controlar la relación tallo/raíz, para evaluar si el crecimiento vegetativo y radicular esta avanzado o retrasado con referencia a la fecha estimada para finalizar la planta. La modificación alométrica de tallo/raíz es importante para entender la repuesta del trasplante (Leskovar, 2001).

Para definir las características de calidad de una manera más objetiva, además del aspecto externo habría que tomar muy en cuenta la respuesta que estas plántulas ofrecen al ser trasplantadas. Para lograr esto, se sugiere que se deben asignar valores a los órganos que la constituyen: raíz, tallo y hojas, relacionando parámetros fácilmente medibles en el semillero con la respuesta

que esta planta tiene en cultivo una vez trasplantada al invernadero (Domingo, 2000).

## **2.6 Acondicionamiento de Plántulas**

El objetivo del acondicionamiento es obtener plántulas de menor altura, endurecidas y con características de calidad. Existen distintos tipos de acondicionamiento de plántulas los cuales se resumen de la siguiente manera (Guzmán, 2002).

Cuadro 2.1 Métodos de acondicionamiento de plántulas.

Método	Tipo de acondicionamiento
Métodos Físicos	Acondicionamiento Mecánico
	Acondicionamiento Luminoso
	Acondicionamiento Térmico
Métodos Químicos	Reguladores de Crecimiento
	Acondicionamiento Hídrico
	Acondicionamiento Nutritivo

### **2.6.1 Métodos físicos**

#### **2.6.1.1 Acondicionamiento mecánico**

Las plántulas sometidas a movimiento tienden a ser de menor estatura (Jaffe, 1973). El movimiento y otras formas de estimulación mecánica tienen un marcado efecto sobre el enanismo en las plantas. Estos efectos varían entre las especies hortícolas, entre las variedades e inclusive entre los diferentes cultivares, pero en general origina una reducción en la altura de las plántulas, como consecuencia de una reducción en la elongación del tallo y en los pecíolos, acompañado de un incremento en la superficie foliar en un 8% y en el contenido en clorofila junto a un incremento en la resistencia elástica del tallo (Biddington, 1986).

Métodos mas drásticos de acondicionamiento mecánico consisten en la poda foliar, pinzamiento apical y cepillado. El primero pretende reducir las pérdidas de agua por transpiración, pero no aumenta la supervivencia ya que elimina una fuente importante de carbohidratos para el reinicio del crecimiento y además aumenta el grado de incidencia de plagas y enfermedades en el cultivo establecido. (Kraus, 1942). El pinzamiento del ápice de crecimiento se ha mostrado efectivo en el control de la altura, en la reducción del tamaño final y en la prevención de la diferenciación floral antes del transplante, pero tiene un efecto importante sobre la posterior diferenciación floral por lo que no es conveniente para plantas con patrón de diferenciación floral monopódico (Jaworski y Webs, 1967).

#### **2.6.1.2 Acondicionamiento Luminoso**

La mayoría de las plantas detectan la presencia de competidores próximos mediante cambios en la calidad lumínica del entorno, lo que la induce a evitar el sombreo mediante la elongación del tallo. Algunas investigaciones han demostrado que esta elongación inducida puede inhibirse en plántulas de tomate exponiéndolas a radiación roja al final del período luminoso natural (Decoteau y Friend, 1991). Sin embargo es necesario confirmar la efectividad de estos tratamientos con diferentes longitudes de onda.

#### **2.6.1.3 Acondicionamiento Térmico**

El uso de temperaturas medias nocturnas mayores que las medias diurnas, se ha experimentado en numerosas especies florales, sin embargo son pocos los estudios realizados en especies hortícolas, Erwin y Heins, (1990), reportan reducciones en la longitud de los entrenudos de plántulas de tomate, sandía y judía sometidas a diferencial de  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sin embargo no encuentran efectos significativos para el mismo diferencial aplicado a pepinos o guisantes.

Por otro lado hace bastante tiempo que se conocen los efectos negativos de la aplicación de diferenciales de temperatura negativos  $>10$  °C sobre la diferenciación floral y la inhibición de la fructificación en plántulas de tomate (Went, 1944, Went, 1945).

## **2.6.2 Métodos Químicos**

### **2.6.2.1 Reguladores de Crecimiento**

Diversos investigadores han considerado desde hace mucho tiempo la atractiva posibilidad de aplicar foliarmente determinadas sustancias a las plántulas para inhibir temporalmente su crecimiento (aplicación foliar de giberelinas, precursores de etileno, etc.) e incrementar su resistencia durante y después del trasplante. Las sustancias seleccionadas para este fin generalmente actúan reduciendo la velocidad de elongación del tallo, mientras mantienen la producción de área foliar en las plántulas (Cathey, 1964).

### **2.6.2.2 Acondicionamiento Hídrico**

El estrés hídrico controlado, induce cambios en el crecimiento de las plántulas que las acondiciona para el estrés que supone el trasplante. Disminuye la elongación del tallo, la expansión del área foliar y la acumulación de carbohidratos en las hojas, reduciendo los daños por baja temperatura y mejorando la supervivencia postransplante (Pardossi et al, 1988). Sin embargo resulta bastante difícil inducir un estrés hídrico controlado en plántulas que crecen de contenedores en un reducido volumen de sustrato y requieren varias sesiones de riego diarias, por lo que en pocas horas pueden sufrir daños severos de estrés.

### 2.6.2.3 Acondicionamiento Nutrimental

Para conseguir un crecimiento satisfactorio de las plántulas en los alvéolos de las charolas de germinación, es necesario un suministro adecuado y constante de elementos nutritivos al medio de cultivo (cuyo contenido nutrimental raramente es suficiente para satisfacer las necesidades totales durante el período de crecimiento). La composición y la frecuencia de aplicación de la solución nutritiva al medio de cultivo determinan el estado nutritivo y por tanto el crecimiento de las plántulas (Guzmán, 2002).

Widders, (1989), sugiere que para controlar la velocidad de crecimiento de las plántulas, se deben suministrar niveles adecuados de nutrimentos durante las etapas tempranas de crecimiento y posteriormente reducir los aportes antes de efectuar el trasplante.

Widders y Garton (1992), proponen que el mejor método de control de crecimiento consiste en conservar las plantas con velocidades de crecimiento lentas en etapas iniciales posteriores a la emergencia y elevar los niveles de nutrientes en la etapa de acondicionamiento previa al trasplante, para activar el reinicio del crecimiento posterior. El inconveniente que presenta este método es que las estructuras e instalaciones son usadas durante un largo tiempo en la etapa de crecimiento lento y presenta problemas para una recuperación posterior de las plántulas.

Nitrógeno y potasio son elementos que pueden ser diagnosticados con precisión mediante el análisis del extracto celular de pecíolos, se reportan niveles de referencia para tomate de entre 500 y 800 ppm de  $\text{N-NO}_3^{-1}$ , a las dos semanas del trasplante, mientras que  $\text{K}^{+1}$  entre 3000 y 4000 ppm (Castellanos, 2004).

### **2.6.3 Nitrógeno**

Las plantas jóvenes tienen alta demanda nutricional, en parte debido a su rápida tasa de crecimiento comparada con plantas de edad avanzada. La fertilización debe ser aplicada a bajas dosis durante primavera-verano, mientras que altas dosis son recomendadas en otoño-invierno. La fertilización, junto con la irrigación y la temperatura también son variables importantes para el control de la altura (Leskovar, 2001).

#### **2.6.3.1 Funciones del nitrógeno en las Plantas**

El nitrógeno forma parte de importantes moléculas en las células vegetales como aminoácidos, proteínas, enzimas y clorofila. La forma química en que se aplique el nitrógeno tiene una gran importancia en el comportamiento del crecimiento en las plántulas. Cuando el contenido total de N aumenta, disminuye la acumulación de carbohidratos en las células, mientras que aumenta el contenido en ligninas en las paredes celulares. Niveles elevados de N en el interior de la planta compiten funcionalmente con el K, que es necesario para la carga de azúcares en el floema (Guzmán, 2002).

Plántulas que en semillero reciben dosis excesivamente altas de nitrógeno, presentan mayor peso seco de vástago y disminuyen el de la raíz, lo cual aumenta el estrés al ser trasplantadas en invernadero (Schultheis y Dufault, 1994).

#### **2.6.3.2 Nitrato ( $\text{NO}_3$ )**

Las formas nítricas ( $\text{N-NO}_3^-$ ) son en su mayoría absorbidas por las raíces de las plantas, son muy móviles en su interior y pueden almacenarse en grandes cantidades sin provocar toxicidad. Sin embargo para utilizarse como constituyentes orgánicos deben ser reducidas a amonio (mediante nitrato-reductasas). Para la mayoría de las especies hortícolas, la proporción de N-

$\text{NO}_3^-$  reducida en las raíces aumenta con la temperatura y la edad de la planta, por lo que en las plántulas, una gran cantidad de los nitratos son transportados a la parte aérea donde la actividad nitrato reductasa es mayor; sin embargo la aplicación de nitratos en proporciones mayores del 75% a las plántulas promueve un mayor crecimiento radical que aéreo, induciendo un crecimiento aéreo mas compacto, caracterizado por tallos de entrenudos cortos y gruesos, con hojas pequeñas, densas y de color verde luminoso (Guzmán, 2002).

### **2.6.3.3 Amonio ( $\text{NH}_4$ )**

Cuando se usan fertilizantes amoniacales o elaborados a base de urea, la toxicidad del  $\text{NH}_4$  puede ser un problema serio. Para evitar o corregir se recomienda aumentar la temperatura  $> 18^\circ \text{C}$ , mantener el  $\text{pH} > 5.3$  (lo que favorece la conversión de  $\text{NH}_4$  a  $\text{NO}_3$ ), lixiviar el  $\text{NH}_4$ , cambiar por fertilizantes con nitrato y utilizar mezclas con  $<25\%$  de  $\text{NH}_4$  y  $>75\%$  de  $\text{NO}_3$ . (Leskovar, 2001).

Las formas amoniacales ( $\text{N-NH}_4^+$ ) pueden ser absorbidas por las plántulas en cantidades considerablemente mayores que las plantas adultas (hasta el 25% del N total). Tras su absorción por el sistema radical son rápidamente incorporadas en compuestos orgánicos en la propia raíz y de esta forma transportados a la parte aérea (Guzmán, 2002).

La aplicación de proporciones elevadas de  $\text{N-NH}_4^+$  (mas del 25%), promueve un mayor crecimiento aéreo que radical, induciendo un crecimiento poco consistente de la parte aérea de las plántulas, caracterizado por tallos de entrenudos largos y hojas mas amplias y oscuras (Nelson, 1991).

### **2.6.4 Potasio.**

Puede considerarse el elemento nutritivo más versátil en las plántulas. Su absorción radical es altamente selectiva y está directamente implicada con la

actividad metabólica de la plántula. Es considerado como un elemento altamente móvil a todos los niveles del vegetal. Su nivel en la planta se ha relacionado con el de resistencia a estrés por frío y con la resistencia a plagas, no obstante los efectos inmediatos del acondicionamiento nutritivo con K está relacionado con el estado hídrico general de las plántulas, con la diferencia del porcentaje de peso seco generado entre raíz y parte aérea y la capacidad de expansión de ésta, así como con la resistencia a estrés hídrico en postransplante (Guzmán, 2002).

El K generalmente se aplica en la misma proporción que el N. El K se lixivia fácilmente y debe aplicarse continuamente. Altos niveles de N (2N:1K) y Na inhiben la absorción de K (Leskovar, 2001).

Se ha observado que dosis altas de potasio, incrementan el diámetro de tallo y la altura de plántula sin disminuir el peso seco de raíz (Tremblay y Senécal, 1988).

#### **2.6.4.1 Funciones del potasio en las Plantas**

Es metabólicamente importante en los procesos de elongación celular, en la síntesis de proteínas, en procesos de activación enzimática y en los procesos fotosintéticos. Como transportador está implicado en la carga de carbohidratos en el floema y en el transporte de otros elementos a través de las membranas celulares. Las variaciones locales de concentración de K son fundamentales en el mantenimiento del potencial osmótico de células y tejidos, especialmente en la apertura y cierre estomático y en la turgencia de las plántulas. (Guzmán, 2002).

### **2.7 Trabajos Realizados con Nitratos y Potasio**

Nicola y Basoccu (1994), evaluaron distintos niveles de nitrógeno y cuatro relaciones de N, P, K en solución nutritiva durante el crecimiento de plántulas de tomate variedad "Tango" y determinaron su influencia nutrimental previa al

trasplante. Los resultados muestran que al aumentar las concentraciones de nitrógeno, se afecta positivamente el crecimiento de las plántulas. Se encontró un efecto positivo en todas las características morfológicas y fisiológicas evaluadas, excepto en la variable número de hojas. Los mejores resultados para peso fresco total fueron obtenidos con la relación N, P, K 1.0:0.8:2.4, para las variables de altura de planta, área foliar, peso fresco de hojas, peso seco de hojas y peso seco de plántula, se obtuvieron los mejores resultados con la relación N, P, K 1.0:1.2:3.6. En la etapa de producción en invernadero se observó que al incrementar los niveles de nitrógeno se afecta positivamente la producción temprana, con mayor número de frutos y más peso por fruto. Las bajas relaciones de N, P, K 1.0:0.4:1.2 redujeron la temprana producción así como el número y peso de frutos. El número total de frutos, fue pobremente influenciado por los niveles de nitrógeno, solamente 2 y 4 meq L<sup>-1</sup> afectaron el peso total de frutos.

Suniaga (1990), estudió el comportamiento de plántulas de tomate desarrolladas sobre arena en distintas condiciones de disponibilidad de nitrógeno, cero nitrógeno (0N) más solución completa, 1/3 de nitrógeno (N/3) más solución completa, tres veces nitrógeno (3N) más solución completa y solución normal (1N). El crecimiento y desarrollo se cuantificó desde plántula hasta el amarre de fruto. El nivel de N/3 afectó significativamente el peso del vástago y aumentó por poco tiempo el peso de raíz. Los niveles de 0N y 3N se comportaron igual hasta el amarre de flores, después de esto, 0N se comportó igual que N/3 y 1N. Al sobrepasar los niveles de nitrógeno requeridos por las plantas, se redujo drásticamente el crecimiento de la raíz y se incrementó el crecimiento del vástago con numerosos brotes que en su mayoría abortaron.

Cerne (1990), al estudiar el crecimiento de tomates con distintos niveles de fertilización de nitrógeno obtuvo mayor número de frutos por planta al aplicar Nitrato de Calcio y observó que al aplicar Sulfato de amonio el 18% de los frutos

presentó pudrición apical, mientras que con nitrato de calcio solamente el 3% de los frutos fueron afectados por el mismo fenómeno.

Önder. et. al. (2000), estudiaron el efecto de distintas dosis de nitrógeno y fósforo en plántulas de tomate y encontraron que la interacción del nitrógeno y el fósforo aplicado tienen un efecto favorable significativo sobre la absorción de calcio y potasio en un 19 y 3% respectivamente, sin embargo, la absorción de potasio, no fue afectada significativamente al incrementar las dosis de nitrógeno o fósforo individualmente.

Cengiz et. al. (2001), cultivaron tres variedades de tomate: Rio Grande, Monika F1 y Mrylin F1 en hidroponía, con altos niveles de sales de NaCl por 6 semanas, con la finalidad de evaluar el efecto de aplicación foliar de potasio y fósforo. Encontraron que las aplicaciones complementarias de potasio y fósforo ( $\text{KH}_2\text{SO}_4$ ), se vieron reflejadas en un aumento de concentración de clorofila y materia seca para las tres variedades.

Flores et. al. (2002), aplicaron 3 niveles de salinidad a plántulas de tomate cultivadas en solución Hoagland y encontraron que al aumentar la salinidad en los distintos tratamientos sobre la raíz se disminuyó significativamente la absorción de nitratos y consecuentemente se redujo el área foliar.

Muñoz (2002), acondicionó nutritivamente plántulas de tomate y pimiento en semillero y encontró que las plántulas de tomate responden a reducciones en la concentración de N y P con incrementos de superficie foliar.

Preciado et. al. (2002), hicieron variaciones en los niveles de nitrógeno y potasio a la solución nutritiva de Steiner para cultivar plántulas de dos híbridos de melón, Crusier (HC) y Gold Eagle (HGE), en el híbrido HGE, no se encontraron diferencias significativas en las variables evaluadas, excepto en la relación vástago raíz, donde se obtuvo la menor relación (27% menos) con el

nivel alto de nitratos ( $16 \text{ mol m}^{-3}$ ). En el híbrido HC se encontró que aplicaciones bajas de nitratos ( $12 \text{ mol m}^{-3}$ ) y altas de potasio ( $10 \text{ mol m}^{-3}$ ) generaron los mejores resultados para las variables diámetro de tallo (29% más), peso seco de vástago (20% más), peso seco de raíz (13% más), volumen de raíz (9% más) y área foliar (18% más), mientras que se redujo 17% la relación vástago raíz con  $16 \text{ mol m}^{-3}$  de nitratos, la menor altura de planta (5% menos) se produjo con la dosis baja de potasio ( $5.51 \text{ mol m}^{-3}$ ) y en las variables de número de hojas y contenido de clorofila los mejores resultados se obtuvieron (13 y 3% más respectivamente) con aplicaciones de  $12 \text{ mol m}^{-3}$  de nitratos; no se encontró diferencia significativa para altura de planta al variar las cantidades de nitratos ni para contenido de clorofila y número de hojas al variar el potasio.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización Geográfica del Sitio Experimental**

El presente trabajo se realizó durante el ciclo primavera verano del año 2006 en un invernadero tipo túnel con orientación este-oeste de 104 m<sup>2</sup> del Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, con coordenadas geográficas: 25°27'37" de latitud Norte, 100°58'6" de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y altura de 1610 msnm.

#### **3.2 Características de Área Experimental**

##### **3.2.1 Temperatura, Humedad Relativa y Radiación.**

La temperatura al interior del invernadero fue manejada mediante la pared húmeda y extractores de manera automática mediante un sensor que se programó de acuerdo a las necesidades de la plántula durante el desarrollo del experimento (22 °C al inicio y 28 °C al final del experimento).

La humedad relativa se programó automáticamente mediante nebulizadores para mantener una humedad relativa promedio adecuada a la etapa fenológica de la plántula (60% de HR al inicio y 46% al final del experimento). La radiación se bajó con la aplicación de una malla sombra y malla aluminet que proveían un sombreado del 60% y al avanzar el experimento se disminuyó el sombreado al quitar la malla aluminet con el objeto de preparar la plántula para el trasplante.

### **3.3 Descripción del Material Experimental**

#### **3.3.1 Material Vegetativo**

Para la realización de este trabajo se utilizó el híbrido de tomate de crecimiento indeterminado Gabriela de la casa comercial Hazera Genetics LTD, Lote 13932, con germinación del 90%, semilla producida en julio del 2005.

#### **3.3.2 Híbrido “Gabriela”**

Híbrido Gabriela (Fa-593), es una planta con hábito de crecimiento indeterminado muy vigoroso y de madurez relativa intermedia, de una excelente calidad de fruto y con resistencia a enfermedades como Verticillium, Fusarium Razas 1,2, Virus del Mosaico del Tabaco, y nemátodos. Es una planta para cosecha larga (6-8 meses) y por lo tanto su producción es magnífica. Los tamaños de sus frutos son medianos para mercado Europeo, su forma es achatado globoso y hombros verde claro, cuenta con una excelente firmeza y larga vida de anaquel, tiene la opción de ser cosechado en forma de racimos, ya que la posición de sus frutos dan esta alternativa, puede llegar en invernadero a completar los 30/35 racimos sin ningún problema, madura perfectamente en color rojo.

Este híbrido en sus inicios no requiere de grandes cantidades de nitrógeno y agua, por ser una planta muy vigorosa, su rango de adaptabilidad es muy amplio aun en medios de cultivo con una conductividad eléctrica alta. También su adaptabilidad en fechas de siembra es muy alta, pudiendo ser en otoño temprano hasta primavera tarde.

### 3.3.3 Agua de riego.

En la preparación de la solución nutritiva se utilizó Agua purificada “*Sierra Azul*®” para lograr un mayor control del contenido iónico de la solución. El análisis químico de la misma, fue hecho por el laboratorio de Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), con los siguientes resultados:

Cuadro 3.1 Resultados del análisis químico del agua “*Sierra Azul*®”

pH	6.95
CE	0.09 dSm <sup>-1</sup>
Ca	0.075 meq L <sup>-1</sup>
Mg	0.025 meq L <sup>-1</sup>
HCO <sub>3</sub>	1.000 meq L <sup>-1</sup>
Cl	0.840 meq L <sup>-1</sup>
SO <sub>4</sub>	0.041 meq L <sup>-1</sup>
NO <sub>3</sub>	0.00 meq L <sup>-1</sup>
PO <sub>4</sub>	0.00 meq L <sup>-1</sup>
K	0.020 meq L <sup>-1</sup>

### 3.3.4 Charolas

Se usaron charolas de poliestireno de 200 cavidades con volumen individual de 20 cm<sup>3</sup> con el sustrato de turba donde se germinaron las semillas.

### 3.3.5 Sustrato

Las características físicas y químicas del sustrato Turba (peat moss) PREMIER-PROMIX® Options, se resumen en la siguiente tabla.

Cuadro 3.2 Características físicas y químicas del sustrato Turba (peat moss)  
PREMIER-PROMIX ® Options

Materia Orgánica	48.5 %
Densidad Aparente	0.134 g cm. <sup>-3</sup>
Porosidad de aire	7.88 %
Espacio poroso total	90.00 %
pH	6.25
Conductividad Eléctrica	0.4 dSm <sup>-1</sup>
Ca	1.75 meq L <sup>-1</sup>
Mg	1.50 meq L <sup>-1</sup>
K	1.50 meq L <sup>-1</sup>

La turba (peat moss) es el resultado de los restos de vegetación acuática, pantanos o ciénagas que han sido conservados bajo el agua en estado de descomposición parcial en un proceso donde es evidente la falta de oxígeno, considerando este factor como el principal causante de un proceso de descomposición paulatino.

La turba (peat moss) es un medio poroso y ligero, permite una penetración fácil de raíces y resistencia a la compactación, además, proporciona la relación óptima de aire y de agua para plantas del semillero.

La germinación por medio de turba (peat moss) en semilleros es buena, debido a que es bajo en sales solubles y no quema la radícula al emerger. La cantidad de fertilizantes que se le proporcione dependerán del tiempo de riego y la concentración de la solución nutritiva, es decir, la cantidad de agua que se le proporcione en solución.

### 3.3.6 Equipo Usado

- Bombas centrífugas de 1/3 HP, de uso común en fuentes de ornato para aplicación de la solución nutrimental.
- La programación de los riegos, se realizó mediante temporizadores domésticos.
- Se colectaron datos de temperatura, humedad relativa y radiación mediante sensores conectados a datalogger Minimum Data Set Recorder Li-1200 de LI-COR Inc.
- El área foliar se midió con un equipo de LI-COR Inc. Modelo LI-3100,
- El diámetro de tallo se midió con un vernier
- El peso seco se midió con una balanza electrónica AND-HR-120.
- $\text{NO}_3$  y K en jugos celulares se determinó con aparatos Cardy de HORIBA
- Medidor de clorofila SPECTRUM para determinar índice de clorofila.
- Medición de fotosíntesis y resistencia estomatal con un medidor de gases infrarrojo (IRGA) LI-6400 de LI-COR Inc.
- Higrotermómetro digital EXTECH 445702.
- Medición de densidad estomática con un microscopio compuesto CARL ZEISS con objetivo de 40X

### 3.4 *Diseño Experimental*

#### 3.4.1 **Diseño Experimental**

Para evaluar los resultados del presente experimento se utilizó un diseño factorial  $3^2$  con 9 tratamientos y 3 repeticiones con distribución de tratamientos completamente al azar, dando un total de 27 parcelas experimentales; el factor A estuvo constituido por los 3 Niveles de nitratos, y el factor B por 3 niveles de potasio.

Para el análisis de los datos se utilizó el Paquete Estadístico FAUANL versión 5 de la Facultad de Agronomía. Se realizó análisis de varianza para evaluar las variables que posteriormente se describen y se llevó a cuadro de comparación de medias Tukey a un nivel de significancia de 0.05, para las variables donde se observó una diferencia significativa. Los resultados de análisis de varianza y pruebas de medias se anexan en el apéndice.

#### 3.4.2 **Descripción de Tratamientos**

La descripción de los tratamientos se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.3 Descripción de Tratamientos

Trat.	Factor A	Factor B	Preparación de la solución nutritiva.
T1	3.75 N1	3.5 K1	T5 – 50% de $\text{NO}_3^{-1}$ – 50% de $\text{K}^{+1}$
T2	3.75 N1	7.0 K2	T5 – 50% de $\text{NO}_3^{-1}$
T3	3.75 N1	10.5 K3	T5 – 50% de $\text{NO}_3^{-1}$ + 50% de $\text{K}^{+1}$
T4	7.5 N2	3.5 K1	T5 – 50% de $\text{K}^{+1}$
T5	7.5 N2	7.0 K2	Solución nutritiva propuesta por Cadahia (1998)
T6	7.5 N2	10.5 K3	T5 + 50% de $\text{K}^{+1}$
T7	11.25 N3	3.5 K1	T5 + 50% de $\text{NO}_3^{-1}$ – 50% de $\text{K}^{+1}$
T8	11.25 N3	7.0 K2	T5 + 50% de $\text{NO}_3^{-1}$

T9	11.25 N3	10.5 K3	T5 + 50% de NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> + 50% de K <sup>+1</sup>
----	----------	---------	--

La solución nutritiva propuesta por Cadahia (1998), fue la siguiente:

Cuadro 3.4 Descripción de la solución Nutritiva propuesta por Cadahia (1998)

Unidades	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>+2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	K <sup>+1</sup>	Mg <sup>+2</sup>
Meq/L	7.5	1.5	7-0	8.0	7.0	3.0

Cada repetición estuvo constituida por una charola de 200 cavidades, en la cual se sembraron 160 cavidades por charola, dejando 2 líneas de cavidades a las orillas.

### 3.4.3 Características de la Unidad Experimental

La unidad experimental estuvo constituida por una charola con 160 plántulas y para el muestreo de los datos se tomó al azar una plántula de entre las más representativas de cada repetición, ya que en la toma de datos de algunas variables se toman acciones destructivas, como en el caso de análisis de jugos celulares.

## 3.5 Establecimiento del Experimento

### 3.5.1 Preparación de Sustrato

El sustrato usado que fue PREMIER PRO-MIX ® Options el cual viene comprimido en sacos de 107 litros. Se procedió a descomprimir y uniformizar la estructura del sustrato para evitar la presencia de aglomerados. Ya desmenuzado el sustrato, se hidrató hasta punto de goteo para posteriormente llenar las charolas de germinación.

### **3.5.2 Llenado de Charolas**

Las charolas de polietileno de 200 cavidades fueron llenadas con turba (peat moss) debidamente hidratado, después de procedió a hacer el marcado de charolas para su posterior siembra,

### **3.5.3 Siembra**

Se realizó el día 23 de marzo del 2006 usando la semilla de tomate del híbrido Gabriela de crecimiento indeterminado de la casa comercial Hazera Genetics. La siembra se realizó colocando una semilla por cavidad, después se procedió a tapar la semilla colocando una segunda capa de turba, y se regó charola por charola hasta llevar el sustrato a punto de saturación; las charolas se identificaron con fecha y cultivo sembrado

### **3.5.4 Preparación de la Solución Nutritiva**

La solución nutritiva se preparó conforme a los tratamientos descritos, usando agua purificada "Agua *Sierra Azul*®". Se hizo una preparación de soluciones madre concentradas 25 veces, de acuerdo a las necesidades de fertilizantes y al preparar la solución nutritiva se balanceó para conservar un pH. de 5.8-6.3.

## **3.6 *Conducción del Experimento***

### **3.6.1 Aplicación de Tratamientos**

#### **3.6.1.1 Frecuencia de Riego**

La aplicación de las soluciones nutritivas se hizo mediante el método de sub-irrigación con bombas sumergibles, de uso común en fuentes de ornato, realizando recirculación en canaletas con pendiente de 0.5% donde se colocaron las charolas germinadoras.

La frecuencia de riego se programó mediante temporizadores domésticos, se programaron siete riegos por día; en las etapas iniciales de la plántula se consideraron 15 minutos por riego aplicado, al término del experimento se dio el mismo número de riegos por día, pero con una duración de 3 minutos por evento.

### **3.6.1.2 Concentración de la Solución Nutritiva**

Al inicio del ciclo de producción de la plántula se aplicó una solución nutritiva de acuerdo a los tratamientos ya descritos, comenzando con una concentración al 50%, posteriormente a las dos semanas, se concentraron las soluciones al 75% y al final del ciclo (cuarta semana) se concentró la solución nutritiva a 100% (Guzman, 2002), esto con el objeto de no afectar el desarrollo de la plántula por salinidad al inicio de su desarrollo.

### **3.6.2 Control de Humedad Relativa**

La humedad relativa se monitoreó con un datalogger Minimum Data Set Recorder Li-1200 de LI-COR Inc que registraba datos del sensor vaisela, simultáneamente se podía registrar la humedad relativa mediante un higrotermómetro digital EXTECH 445702, la que se incrementaba mediante 2 líneas de micro-aspersores localizados a un costado del bancal que sostenía las canaletas y las charolas de germinación, se programados para sostener una humedad relativa promedio de 80% al inicio en etapas tempranas de desarrollo de las plántulas y de 35% en las etapas finales.

### **3.6.3 Control de Temperatura**

La temperatura se registró de manera automática mediante un sensor conectado a un datalogger Minimum Data Set Recorder Li-1200 de LI-COR Inc, de igual manera se podía consultar la temperatura ambiente mediante un higrotermómetro digital EXTECH 445702. El control de la temperatura se logró

mediante pared húmeda y 2 extractores, que funcionaban con un sensor programado para mantener una temperatura promedio de 25° C en etapas tempranas y 29-30° C. a finales del ciclo de producción de la plántula.

#### **3.6.4 Control de Plagas y Enfermedades**

Se tomaron acciones preventivas en cuanto control de plagas y enfermedades, sin embargo no se presentaron durante todo el ciclo de producción. Los productos que se aplicaron de manera preventiva fueron: Previcur N y Tecto 60.

### **3.7 Variables Evaluadas**

#### **3.7.1 Altura de Plántulas**

Esta variable se registró a los 12, 18, 25 y 35 días después de emergencia durante el ciclo de producción de la plántula. La altura de las plántulas se midió en centímetros tomando la distancia del dato de la distancia de la base de la plántula hasta el ápice.

#### **3.7.2 Diámetro de Vástago**

El diámetro del vástago, se obtuvo con un vernier a una altura de 1.5 cm. sobre el cuello de la plántula, se evaluó a los 35 días después de emergencia y se tomaron los datos en milímetros.

#### **3.7.3 Relación Altura de plántula/diámetro de Vástago**

La relación altura de plántula/diámetro de vástago, se obtuvo a los 35 días después de emergencia mediante ya registrados, dividiendo la altura de la planta muestreada, entre su diámetro.

#### **3.7.4 Número de Hojas**

Para cuantificar esta variable se contó el número de hojas verdaderas y diferenciadas a cada plántula evaluada y se llevó a cabo a los 29 días después de emergencia.

#### **3.7.5 Area Foliar**

Se midió 3 veces durante el experimento a los 18, 27 y 35 días después de emergencia, se cortaron las hojas verdaderas y diferenciadas a cada plántula evaluada y se colocaron en la banda rotatoria del equipo LI-COR Inc. Modelo LI-3100, para obtener la suma del área foliar en centímetros cuadrados (cm<sup>2</sup>).

#### **3.7.6 Volumen de Raíz**

Se midió con una probeta graduada, cuantificando el volumen de agua desplazada al introducir en la probeta la raíz de la plántula. Se registró en dos ocasiones durante el experimento, a los 29 y 35 días después de emergencia.

#### **3.7.7 Longitud de Raíz**

Estos datos se colectaron a los 35 días después de emergencia. Tomando la distancia en centímetros desde el cuello de la plántula hasta el ápice de la raíz.

#### **3.7.8 Peso Seco de Vástago y Raíz**

A los 36 días después de emergencia, se separó el vástago y la raíz de la plántula evaluada y se depositaron en un sobre de papel por separado, se

sometieron a una temperatura de 65° C por 3 días y se pesaron en una balanza analítica.

### **3.7.9 Nitrate ( $\text{NO}_3^{-1}$ ) en Jugo Celular**

Se cuantificó el nivel de nitratos en jugo celular a los 29 días después de emergencia, de la siguiente manera: en un mortero se procedió a extraer el jugo celular del vástago de la plántula que se colocó sobre el sensor de un medidor portátil Cardy de HORIBA correctamente calibrado.

### **3.7.10 Potasio ( $\text{K}^{+1}$ ) en Jugo Celular**

Se colectaron datos de potasio en jugo celular a los 29 días después de emergencia, con medidor portátil Cardy de HORIBA de la siguiente manera: se trituró el vástago de la plántula evaluada sin incluir las hojas y una vez calibrado el aparato, se colocó el extracto obtenido en el sensor del aparato en cantidad suficiente y se procedió a tomar los datos en partes por millón.

### **3.7.11 Índice de Clorofila**

Esta variable fue tomada a los 35 días después de emergencia y se cuantificó con el medidor SPECTRUM, tomando la precaución de que el sensor de radiación directa estuviera totalmente expuesto al sol y el objetivo del sensor viendo a la radiación reflejada por el follaje aproximadamente a 20 cm. de separación de la plántula muestreada, se hizo la medición sobre la tercera hoja diferenciada (hoja fotosintetizadora) contando desde el ápice hacia abajo.

### **3.7.12 Tasa Fotosintética, Resistencia Estomática y Transpiración**

Las variables de tasa fotosintética, resistencia estomática y transpiración, fueron evaluadas a los 27 y 35 días después de emergencia. Estos datos se

obtuvieron con el analizador de gases infrarrojos (IRGA) Li-6400 de Li-COR Inc. Sobre la tercera hoja diferenciada.

### **3.7.13 Densidad de estomas**

Se tomaron muestras de estomas en el haz de la cuarta hoja completamente abierta a los 27 y 35 días después de emergencia y se llevaron, donde se cuantificó la densidad de estomas mediante el uso de un microscopio compuesto CARL ZEISS con objetivo de 40X

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo, se reportan las condiciones de temperatura, humedad relativa y radiación en las que se desarrolló el experimento; posteriormente muestran los resultados y se hace una breve discusión sobre las variables evaluadas.

### 4.1 Condiciones ambientales durante el desarrollo del experimento

#### 4.1.1 Temperatura

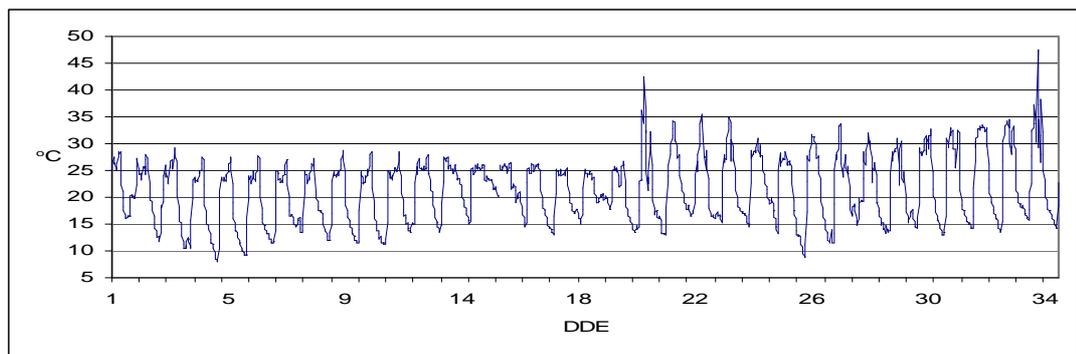


Figura 4.1 Temperatura del aire registrada durante el tiempo de producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela.

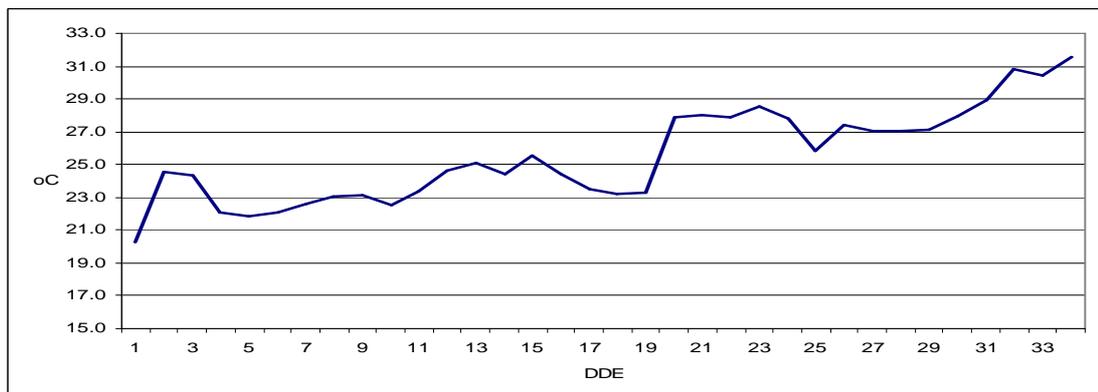


Figura 4.2 Temperaturas medias del aire registradas durante el tiempo de producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela.

Como se observa en la Figura 4.1 las temperaturas mínimas fueron de 8° C. y las máximas de hasta 43 y 48° C, el gradiente de temperatura entre el día y la noche a inicio del experimento, fue alrededor de 10° C, mientras que a finales (22 DDE) el gradiente térmico aumentó hasta 18° C. La Figura 4.2 ilustra las temperaturas medias a lo largo del experimento, aunque son mayores al inicio, las exigencias de temperatura son de menor a mayor, lo cual coincide con lo recomendado por Cárdenas et. al. (2003) para el desarrollo de plántula.

#### 4.1.2 Humedad relativa

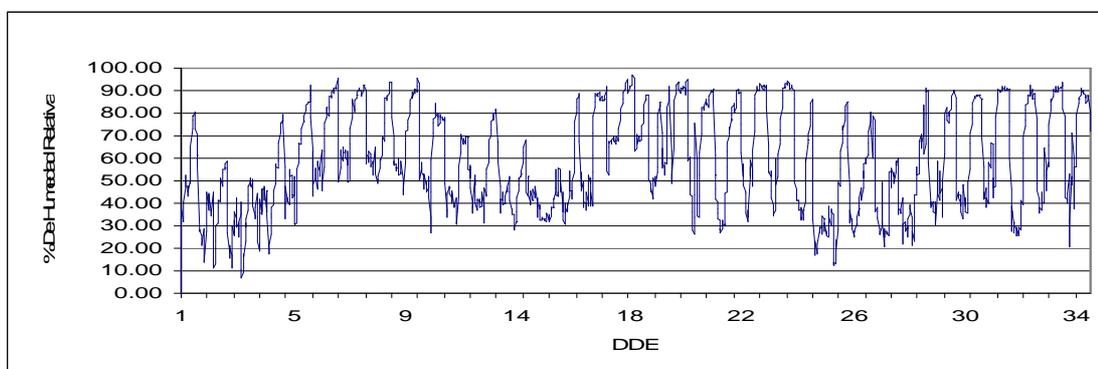


Figura 4.3 Humedad Relativa registrada durante la producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela.

Se aprecia la oscilación de la humedad relativa en la Figura 4.3 donde podemos ver valores de humedades de 90%, durante la noche; mientras que a las horas más calientes del día se registraron valores de 0%, pero la humedad relativa mínima promedio fue de 35%.

En la Figura 4.4, se muestra el comportamiento de la HR promedio durante el experimento; del 1° al 5° día se registraron HR inferiores al 45% esto fue por que hasta ese momento, entró en funcionamiento el control de HR, después de su programación al final del experimento se disminuye, cumpliendo así con lo recomendado Hernández, (1998)

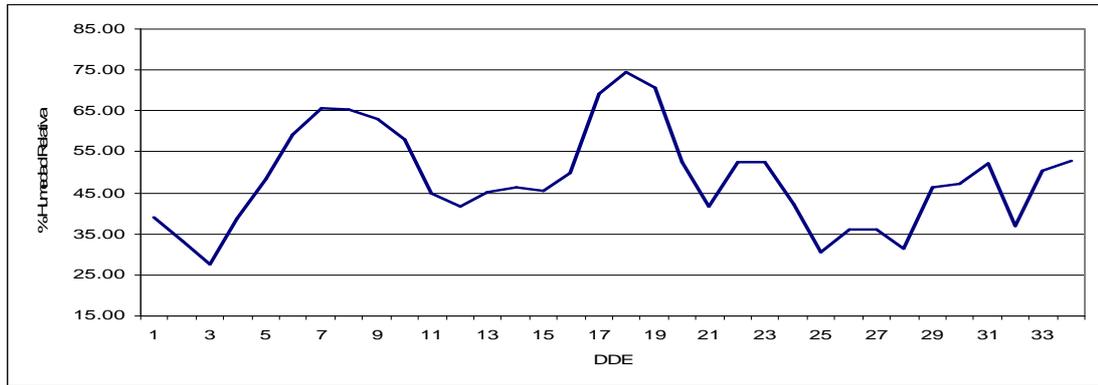


Figura 4.4 Humedad relativa promedio durante la producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela.

#### 4.1.3 Radiación

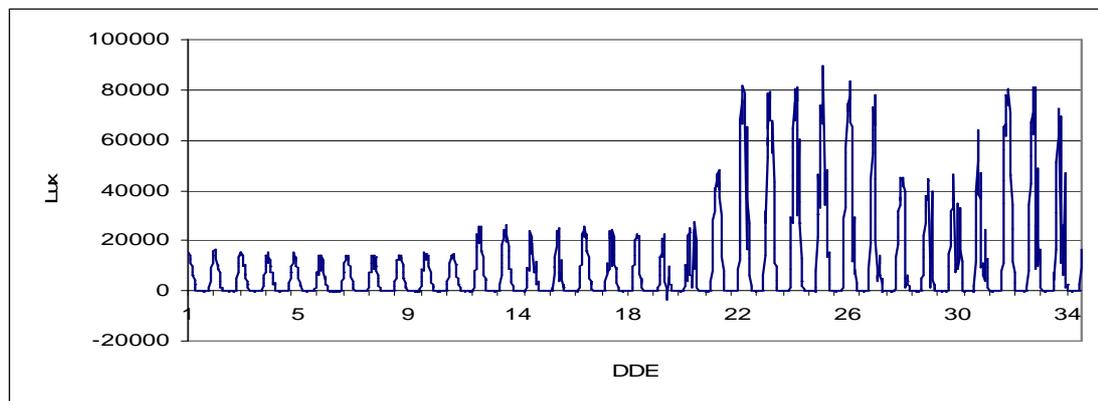


Figura 4.5 Radiación registrada durante la producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela.

La Figura 4.5, ilustra el comportamiento de la radiación al interior del invernadero, con malla sombra al inicio del experimento se mantiene acorde a lo recomendado por Nuez, (1995), a los 12 días se deja entrar más radiación y a los 21 días se pone malla de menos sombreo, pero al observar que las plantas se estresaban demasiado, se colocó nuevamente la malla por lo que la radiación a los 28 días disminuye nuevamente y se eleva a los 31 días para preparar la plántula al posterior trasplante como indica Vásquez, (2006).

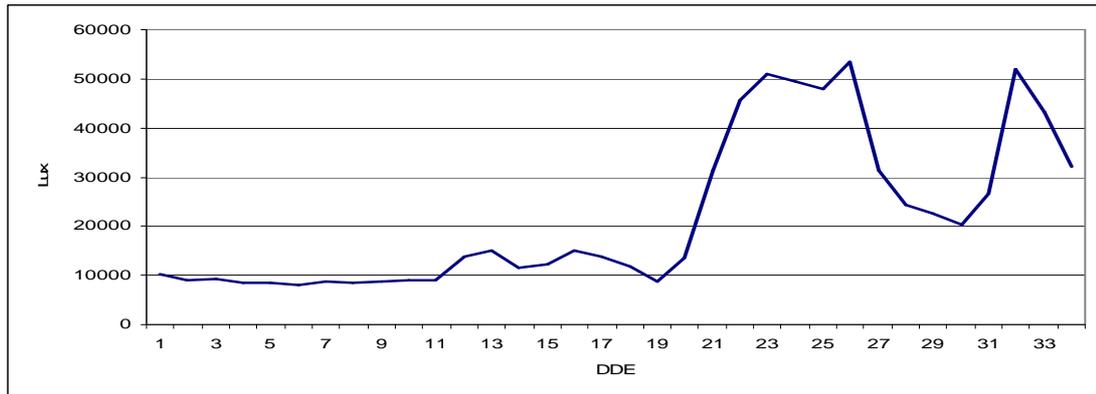


Figura 4.6 Radiación promedio durante la producción de plántula de tomate del híbrido Gabriela..

Las medias de radiación en la Figura 4.6 nos muestran que la radiación se manejó de menor a mayor, acorde a lo recomendado por la literatura. Vásquez (2006), menciona que las necesidades de radiación de las plántulas son bajas al inicio del ciclo e irán aumentando conforme avanza en edad.

## 4.2 Altura de Plántulas

De acuerdo al análisis de varianza para altura de plántula, Cuadro 7.1 del apéndice, se encontró diferencia altamente significativa para el factor A. concentraciones de nitratos según la prueba de medias, Cuadro 7.2 (Tukey P = 0.05) del apéndice y el mejor tratamiento correspondió a (11.25 Meq/L): con una media de 27.84 cm. de acuerdo a lo anterior coincide con lo reportado por Nicola y Basoccu (1994) y Suniaga (1990), reportan que al aumentar las concentraciones de nitrógeno afectaron positivamente la altura de vástago: Sin embargo Preciado et. al. (2002), indicaron que no hay efecto significativo al variar la concentración de nitratos sobre la solución propuesta por Steiner, al cultivar plántulas de melón, pero si hay efecto sobre altura de plántula al aplicar dosis altas de potasio.

En la Figura 4.7 se muestra el efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1}$ -  $\text{K}^{+1}$  para altura de plántula encontrándose los valores más altos con el nivel 3 nitratos. mientras que los valores mas bajos se generaron con el nivel 1 de nitrato..

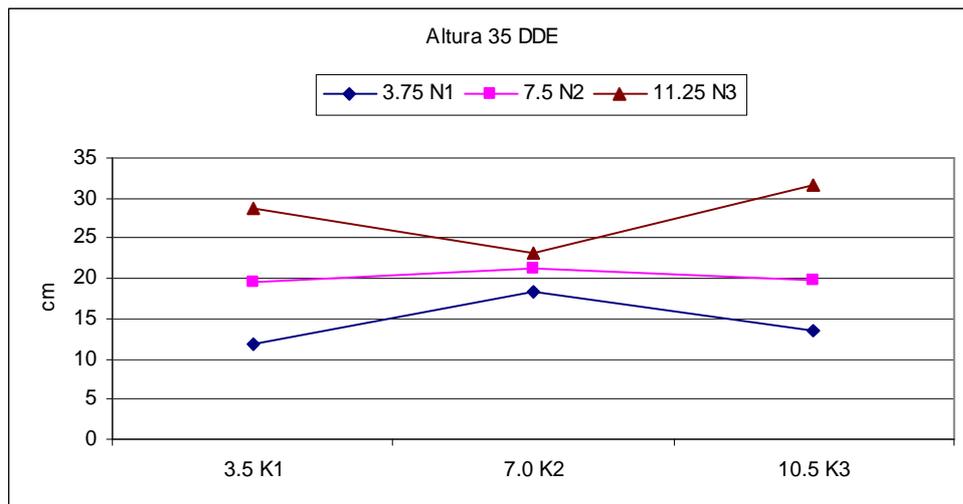


Figura 4.7 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1}$  –  $\text{K}^{+1}$  para altura de plántula.

### 4.3 Diámetro de Vástago

En el Cuadro 7.3 del apéndice se presenta el análisis de varianza para diámetro de vástago donde se encontró, hay diferencia altamente significativa para nitrato, según prueba de medias Cuadro 7.4 (Tukey  $P = 0.05$ ) del apéndice, con el nivel 3 (11.25 Meq/L), se consigue una media de 5.20 mm. de diámetro de tallo: Sin embargo, Preciado et. al. (2002), mencionan que al aplicar los niveles bajos de nitratos de la solución Steiner, se obtienen los diámetros de tallo más altos en plántulas de melón, de igual forma al hacer aplicaciones más altas de potasio se aumenta el diámetro de tallo, lo cual coincide con lo reportado por Tremblay y Senécal (1988), quienes afirman que al aplicar dosis altas de potasio, se incrementa significativamente el diámetro de tallo.

En la Figura 4.8, se aprecia que los valores más altos de diámetro de tallo se logran con la aplicación del nivel 3 de nitrato.

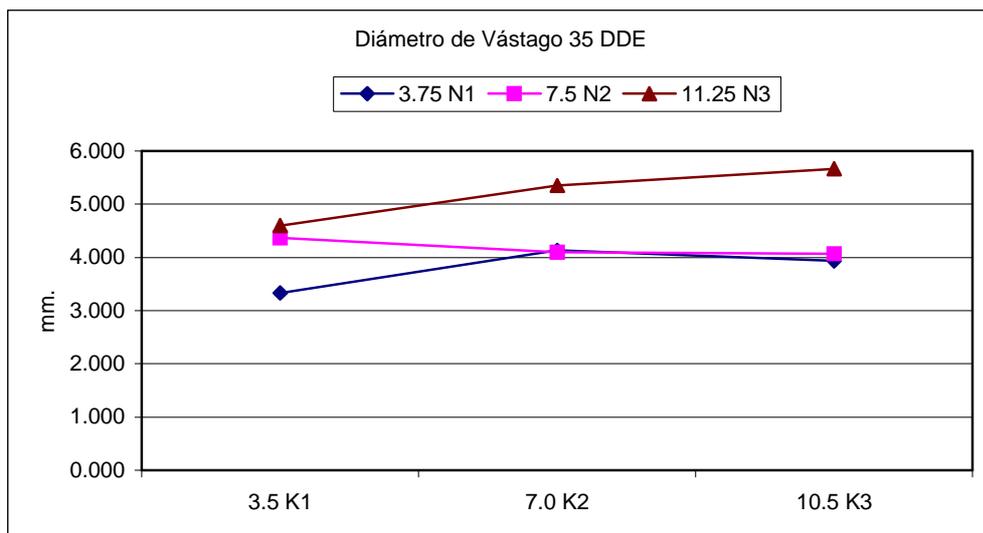


Figura 4.8 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para diámetro de vástago.

#### 4.4 Relación Altura de plántula/diámetro de Vástago

En el Cuadro 7.5 del apéndice se presenta el análisis de varianza para la relación altura de plántula/diámetro de vástago, se puede observar diferencia altamente significativa para nitrato y la prueba de medias, Cuadro 7.6 (Tukey  $P = 0.05$ ) del apéndice reporta la menor relación con el nivel 1 (3.75 Meq/L) relación A/d de 37.72 y la mayor relación altura/diámetro de tallo con el nivel 3, relación de 55.49; lo anterior indica que al usar dosis altas del factor A se obtienen plántulas más altas y de mayor diámetro. Relaciones A/d de vástago menores, pueden significar una plántula mejor preparada para el trasplante, ya que mientras mayor sea el grosor del tallo con respecto a su altura, es mayor la posibilidad de que la plántula trasplantada se mantenga erguida contra factores como viento. Guzman, (2002), menciona que relaciones a/d igual a 40 es un valor muy adecuado. Esto se podría lograr si se terminan las plántulas del nivel 3 de nitrato en menos días después de emergencia.

La Figura 4.9 muestra que los valores más bajos de la relación altura/diámetro de tallo, se logran mediante la aplicación del nivel 1 de nitrato 3.75 Meq/L

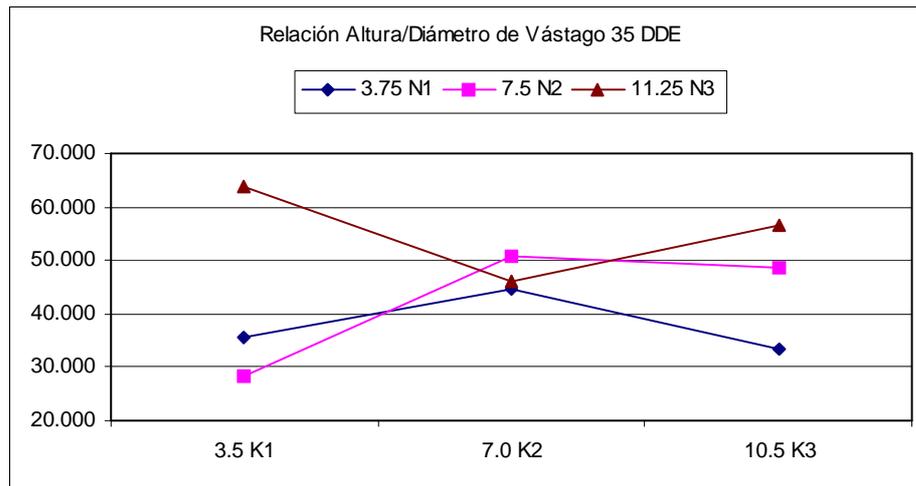


Figura 4.9 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para la relación altura de plántula/diámetro de vástago.

#### 4.5 Número de Hojas

El análisis de varianza para número de hojas, Cuadro 7.7 del apéndice muestra significancia para nitratos y la prueba de medias Cuadro 7.8 (Tukey  $P = 0.05$ ) del apéndice indica que el mayor promedio de hojas (6.33 hojas por planta) lo obtiene el nivel 3 de nitratos (11.25 Meq/L) como se puede observar en la Figura 4.10. Esto es muy importante, ya que al tener más hojas por planta, se tiene una mayor actividad transpirativa, mayor potencial fotosintético y como consecuencia una mayor cantidad de compuestos de carbono almacenados en toda la planta.

Estos resultados difieren con lo reportado por Preciado et. al. (2002), quienes al aplicar niveles altos de nitratos sobre la producción de plántulas de melón incrementaron significativamente el número de hojas y coincide respecto a que la aplicación de potasio no tiene efecto significativo sobre número de hojas por planta.

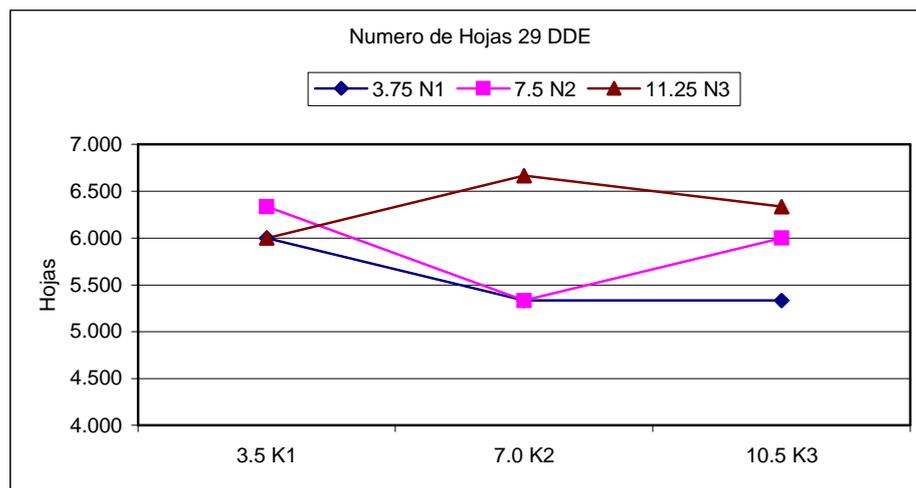


Figura 4.10 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para número de hojas.

#### 4.6 Área Foliar

El Cuadro 7.9 del apéndice muestra diferencia altamente significativa para nitrato, potasio y la interacción de ambos y según la comparación de medias (Tukey  $P = 0.05$ ) Cuadro 7.10 del apéndice, el nivel 3 de nitratos nos da el mejor resultado con un promedio de  $245.48 \text{ cm}^2$  y la mejor media de potasio se logra con el nivel 2, con un promedio de  $183.29 \text{ cm}^2$  como lo muestra la comparación de medias (Tukey  $P = 0.05$ ) Cuadro 7.11. en cuanto a las interacciones el Cuadro 7.14 del apéndice muestra los mayores promedios en el nivel 2 de potasio dentro del nivel 3 de nitrato con un área foliar de  $333.90 \text{ cm}^2$  y la segunda mejor interacción se logra con el nivel 3 de nitrato y los Niveles 1 y 2 de potasio, esto se describe en la Figura 4.11.

Lo anterior coincide con lo que reportan Flores et. al. (2002), al mencionar que el área foliar disminuye al bajar la absorción de nitratos por la planta y difiere con lo afirmado por Muñoz (2002), quien menciona que reducciones de la concentración de nitrógeno aportado aumenta la superficie foliar.

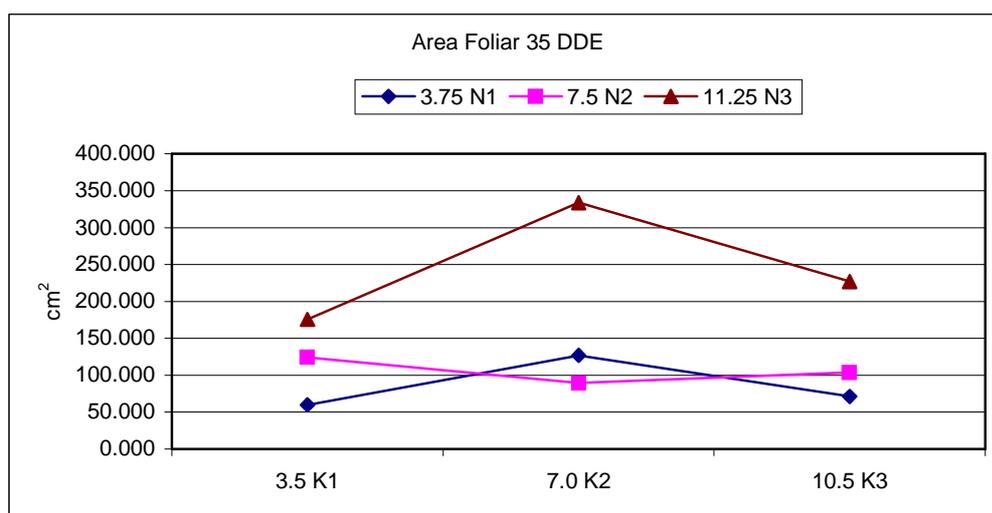


Figura 4.11 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para área foliar.

#### 4.7 Volumen de Raíz

El volumen de raíz, se cuantificó con el desplazamiento de agua que se provoca al introducir la raíz en una probeta graduada que contiene un volumen conocido. Es más importante el volumen de raíces que la longitud, ya que si una planta tiene longitud corta y volumen grande sufrirá menos al ser extraída de la charola y al momento de ser trasplantada,

Según el análisis de varianza Cuadro 7.15 del apéndice, existe diferencia altamente significativa para el nitrato. y en cuanto a la prueba de medias (Tukey  $P = 0.05$ ) Cuadro 7.16 del apéndice y Figura 4.12, el mayor volumen de raíz se logró con nitrato en su nivel 3 (11.25 Meq/L) con media de 2.3 ml. Esto difiere de lo que reportan Preciado et. al. (2002) al afirmar que al disminuir nitratos se aumenta significativamente el volumen de raíz y que se logran resultados similares al elevar las dosis de potasio, aunque en su trabajo no pueden afirmar que el resultado es únicamente por la presencia de  $N-NO_3$  como en nuestro caso, pues ellos usaron suelo como sustrato y existe la posibilidad de efecto por presencia de  $N-NH_4$ .

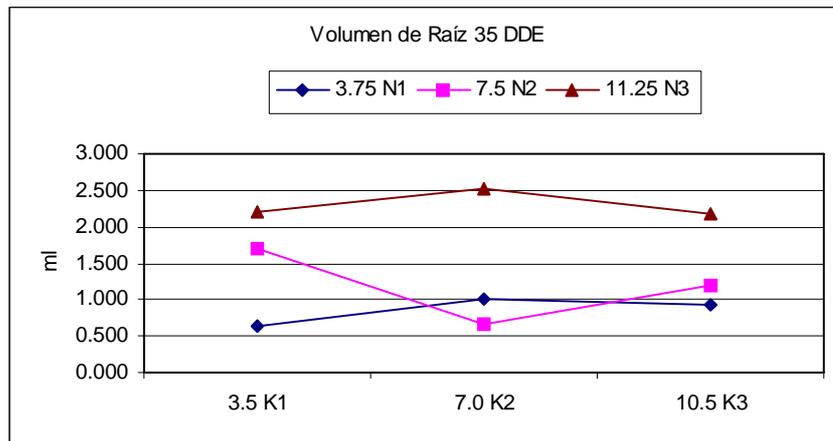


Figura 4.12 Efecto de la interacción  $NO_3^{-1} - K^{+1}$  para volumen de raíz.

#### 4.8 Longitud de Raíz

En el Cuadro 7.17 De acuerdo al ANVA para longitud de raíz, no muestra diferencias significativas dentro de los niveles de nitrato y potasio ni para la interacción de los mismos, sin embargo en la Figura 4.13 se aprecia la tendencia a disminuir la longitud de raíz al incrementar la cantidad de nitratos (11.25 Meq/L de nitratos).

Al respecto Suniaga (1990), menciona que al sobrepasar los niveles de nitrógeno requeridos por la planta, se reduce drásticamente el crecimiento de la raíz,

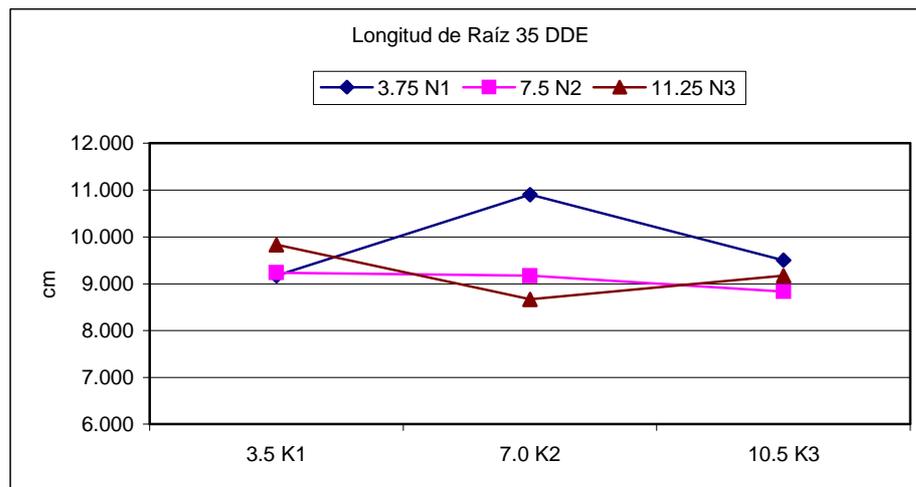


Figura 4.13 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para longitud de raíz.

#### 4.9 Peso Seco de Vástago y Raíz.

El peso seco del vástago y raíz es el resultado de la acumulación de moléculas de carbono resultantes de la fotosíntesis, por lo que aquellas que muestren valores más altos de peso seco, pueden estar mejor acondicionadas nutrimentalmente.

Como se observa en el análisis de varianza realizado para peso seco de vástago Cuadro 7.18 del apéndice existe diferencia altamente significativa solamente para nitrato en su nivel 3 (11.25 Meq/L), se logra un promedio de 0.44 g, esto lo indica la Figura 4.14.

Para el factor B no se han encontrado efectos significativos, pero Cengiz et. al. (2001), mencionan que aplicaciones de potasio vía foliar incrementan la acumulación de materia seca en plántulas de tomate.

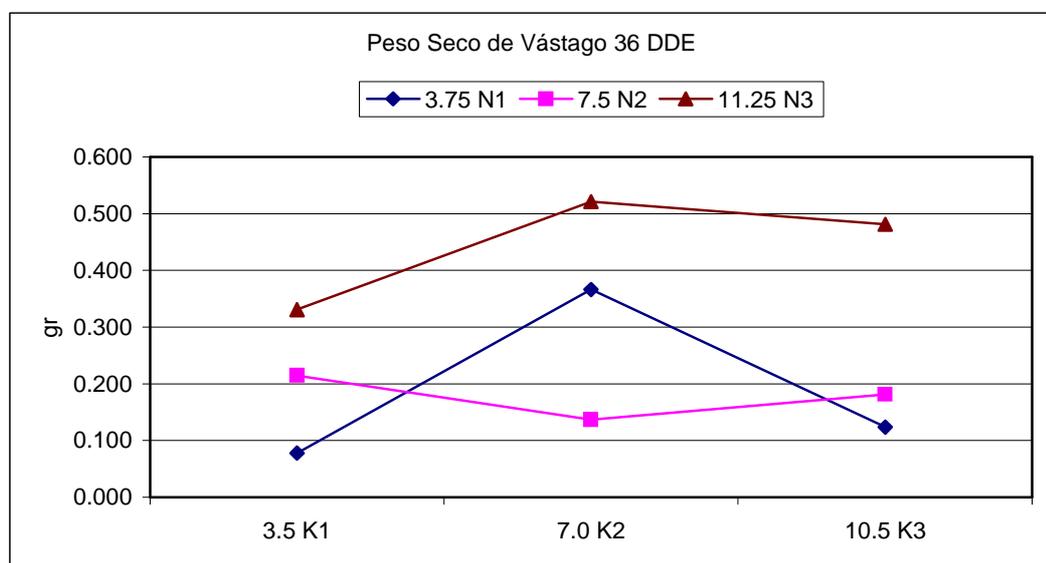


Figura 4.14 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para peso seco de vástago.

El ANVA para el peso seco de raíz, indica diferencia altamente significativa respecto para nitrato Cuadro 7.20 del apéndice y con forme a la comparación de medias Cuadro 7.21 del apéndice y figura 4.15 que indican que la mejor media se obtiene con el nivel 3 de nitratos (0.21 g de peso seco de raíz).

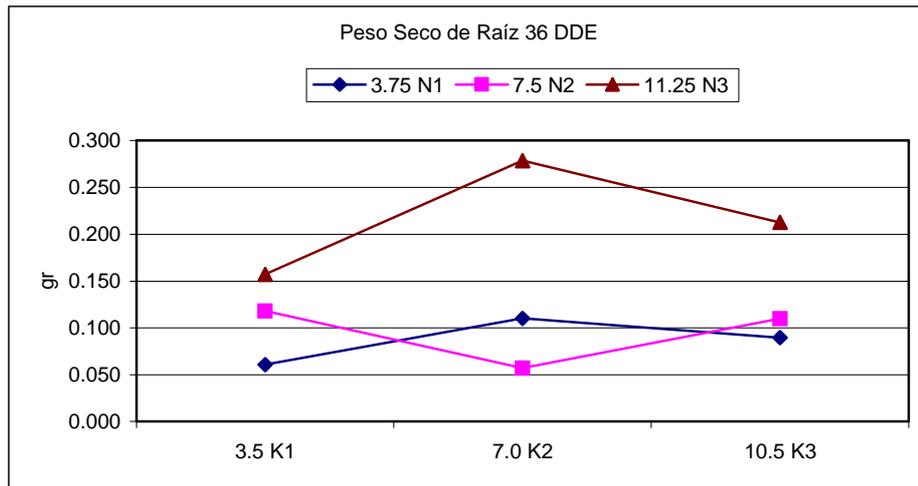


Figura 4.15 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para peso seco de raíz.

#### 4.10 $\text{NO}_3^{-1}$ en Jugo Celular

Nitratos en jugos celulares, es un compuesto que se puede diagnosticar con precisión y de manera inmediata mediante el uso de aparatos de diagnóstico y dado que las variables evaluadas están muy estrechamente relacionadas con el nivel de nitratos es de vital importancia valorar este parámetro.

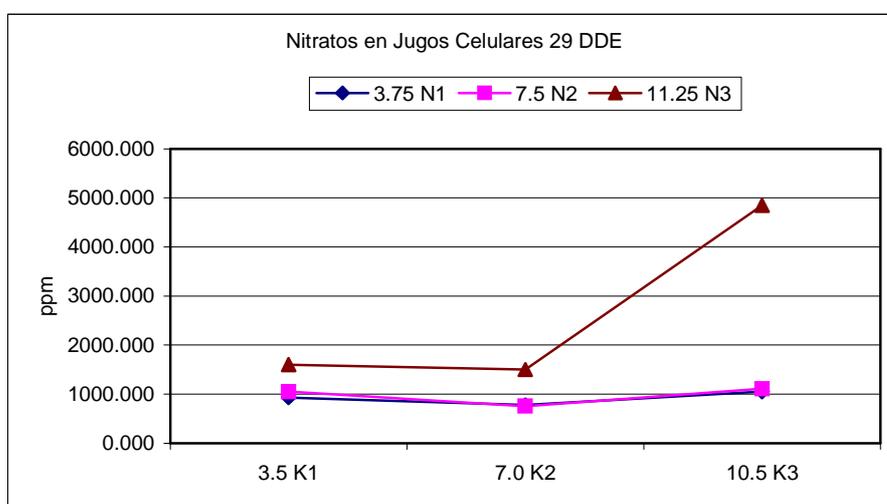


Figura 4.16 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para nitratos en jugos celulares.

Como se muestra en el análisis de varianza del Cuadro 7.22 del apéndice hay diferencia altamente significativa para el nitrato y potasio y la interacción de ambos y según la comparación de medias (Tukey  $P = 0.05$ ) Cuadro 7.23 del apéndice, el nivel 3 de nitratos nos proporciona el mejor resultado con un promedio de 2650 ppm de  $\text{NO}_3$  mientras la mejor media para potasio se obtuvo con el nivel 3, con un promedio de 2335 ppm de  $\text{NO}_3$  como lo muestra la comparación de medias (Tukey  $P = 0.05$ ) Cuadro 7.24 del apéndice, así mismo el Cuadro 7.27 del apéndice muestra los mayores promedios en el nivel 3 de potasio dentro del nivel 3 de nitrato (11.25 Meq/L X 10.5 Meq/L) con los que se diagnostica 4850 ppm de  $\text{NO}_3$  lo cual se puede reafirmar en la Figura 4.16, tales

valores son demasiado altos ya que (Castellanos, 2004), reporta que niveles de  $\text{N-NO}_3^{-1}$  del orden de 500 a 800 ppm son niveles de referencia adecuados para plántulas de tomate a 2 semanas de trasplante

#### 4.11 K en Jugo Celular

El elemento potasio es fácilmente diagnosticable mediante el análisis de extracto celular de pecíolo, aunque en el presente trabajo se ha encontrado poca relación de las variables evaluadas con el contenido de potasio.

El Cuadro 7.28 del apéndice presenta el análisis de varianza para potasio en jugo celular, ahí se puede ver que no hubo significancia para nitrato, pero si la hay para potasio y la interacción nitrato-potasio y de acuerdo al Cuadro 7.29 del apéndice que muestra la prueba de medias (Tukey  $P = 0.05$ ) para potasio, indica que el nivel 2 y 3 son los más altos y estadísticamente iguales con una concentración de 3311 y 3255 ppm de  $\text{K}^{+1}$  respectivamente y como se puede observar en la Figura 4.17 el dato más alto promedio de potasio diagnosticado es de 3733 ppm de  $\text{K}^{+1}$  y corresponde a la combinación del nivel 1 de nitrato con el nivel 2 de potasio como se muestra en la prueba de medias del (Tukey  $P = 0.05$ ) Cuadro 7.30 del apéndice.

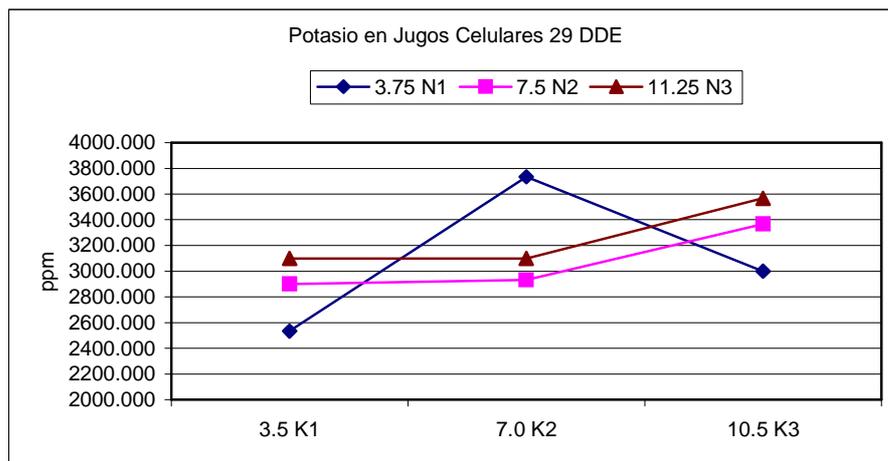


Figura 4.17 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para potasio en jugos celulares.

Aunque Onder (2000), menciona que la absorción de potasio no se ve influenciada significativamente al incrementar las dosis de nitrógeno, en el presente estudio si se encontró efecto significativo por la interacción AXB (3.75 Meq/L N1 X 7.0 K2 Meq/L K2).

#### 4.12 Índice de Clorofila

El índice de clorofila SPECTRUM reflejó una diferencia altamente significativa en su análisis de varianza para nitrato y para la interacción nitrato-potasio, que muestra en el Cuadro 7.33 del apéndice. En el Cuadro 7.34 del apéndice de comparación de medias (Tukey P = 0.05), nos dice que la aplicación del nivel 3 de nitrato, tiene el mayor índice de clorofila SPECTRUM (258.33 SPECTRUM); las mejores interacciones de nitrato-potasio, están dadas por el nivel 2 de nitrato y los niveles 1 y 3 de potasio como se puede observar en el Cuadro 7.36 de comparación de medias (Tukey P = 0.05) y en la Figura 4.18.

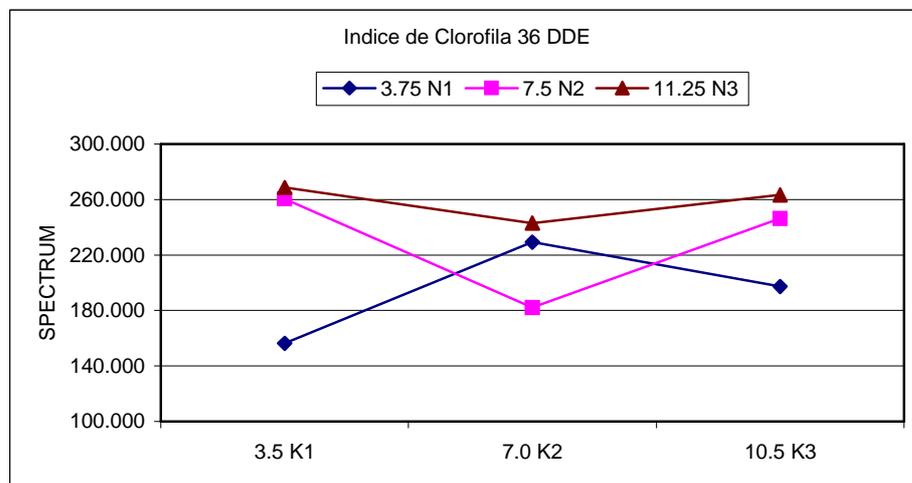


Figura 4.18 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para índice de clorofila SPECTRUM.

Los resultados del presente experimento coinciden con lo que reportan Cengiz et. al. (2001), que indican que la aplicación de potasio incrementó

significativamente el índice de clorofila en plántulas de tomate, pero Preciado et. al (2002).mencionan en su trabajo de producción de plántulas de melón que al variar las cantidades de potasio aportado en la solución Steiner no hubo efecto significativo, pero si los hubo para niveles bajos de nitratos.

#### 4.13 Tasa Fotosintética

El análisis de varianza para tasa fotosintética del Cuadro 7.38 del apéndice muestra que no existió diferencia significativa para nitrato y potasio, pero si la hay para la interacción nitrato-potasio.

La mejor combinación de nitratos y potasio para incrementar la tasa fotosintética según el Cuadro 7.41 del apéndice que reporta la prueba de medias (Tukey P = 0.05),, indica que la combinación del nivel 2 de nitrato y el nivel 3 de potasio se logra una tasa fotosintética promedio de  $18.91 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Esta variable, se correlaciona a un nivel de significancia de 0.385 con densidad de estomas Cuadro 7.51 del apéndice correspondiente a correlación de variables, y es lógico ya que mientras mayor sea la densidad de estomas es mas fluido el intercambio de gases y por lo tanto mayor la tasa fotosintética.

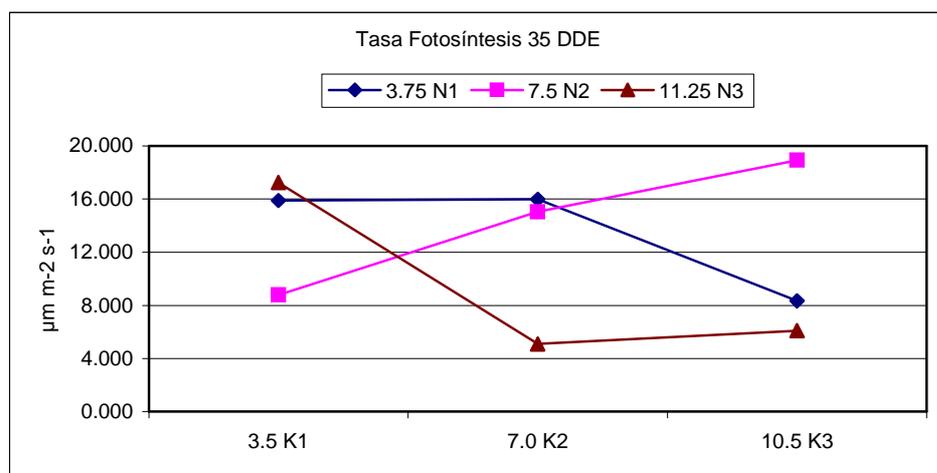


Figura 4.19 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para tasa fotosintética.

#### 4.14 Resistencia Estomática

El ANVA para resistencia estomática, Cuadro 7.42 del apéndice indicó que no existe diferencia significativa para el potasio, ni la interacción nitrato-potasio pero si hubo efecto significativo para el factor nitrato. El Cuadro 7.43 del apéndice sobre comparación de medias (Tukey  $P = 0.05$ ) para nitrato y la Figura 4.20 muestran que hay mayor resistencia estomática al flujo de gases con la aplicación del nivel 3 de nitrato (11.25 Meq/L) con valor promedio de  $1.73 \text{ s m}^{-1}$  y se registra la menor resistencia estomática al flujo de gases con el nivel 1 de nitrato (3.75 Meq/L N1) con un promedio de  $0.66 \text{ s m}^{-1}$ .

Se puede observar que los niveles bajos de nitratos corresponden a plantas con poca biomasa y son aquellas que tiene la menor resistencia estomática.

La correlación de variables Cuadro 7.51 del apéndice muestra correlación positiva de esta variable con área foliar, a un nivel de significancia de 0.05, con lo que podemos afirmar que plantas con mayor área foliar se resisten más al flujo de gases, tal vez esto se deba a que la planta está evitando deshidratarse.

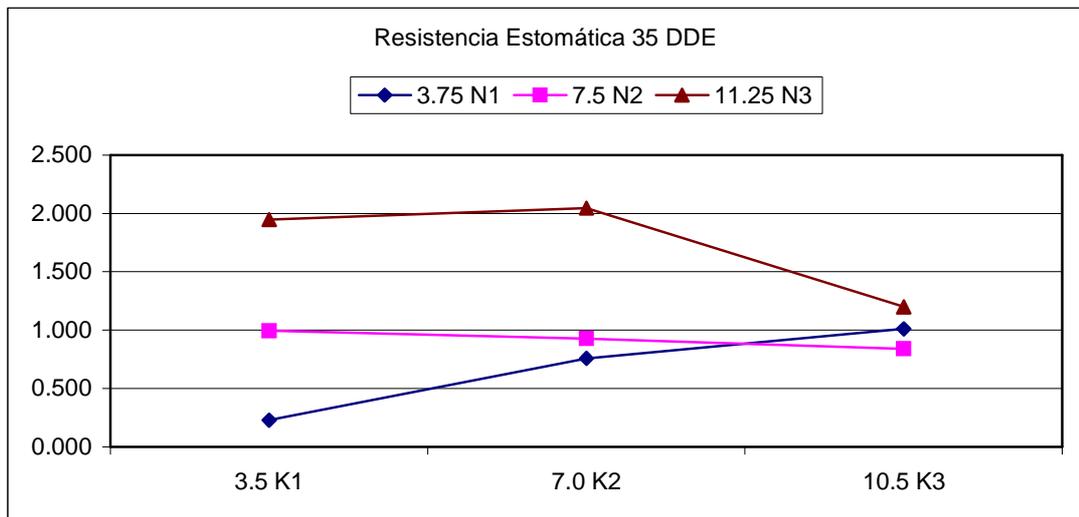


Figura 4.20 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para resistencia estomática al flujo de gases.

#### 4.15 Transpiración

El ANVA para transpiración indicó efecto significativo para nitratos y potasio, y no hubo efecto significativo para la interacción nitrato-potasio Cuadro 7.44 del apéndice. La comparación de medias se presenta en el Cuadro 7.45 del apéndice y la Figura 4.21 que el nivel 1 de nitrato (3.75 Meq/L) propicia una mayor transpiración mientras el nivel 3 del mismo factor induce la menor transpiración; así el nivel 1 de potasio induce mayor transpiración y el nivel 3 de potasio propicia menor transpiración.

Estos resultados indican que una planta con mayores cantidades de potasio transpirará menos con relación a otra planta que tiene poca concentración de potasio.

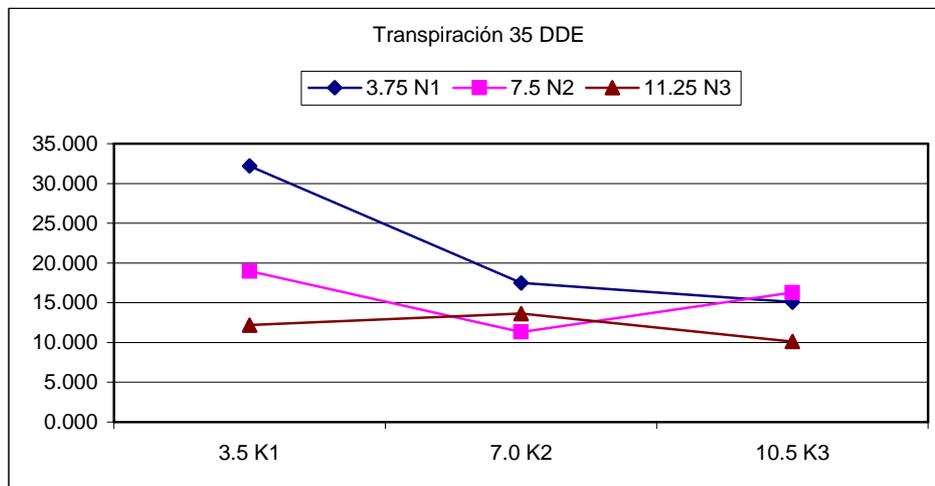


Figura 4.21 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para transpiración.

#### 4.16 Densidad de estomas

El ANVA para densidad de estomas Cuadro 6.47 del apéndice se descubre que no hay significancia para nitrato y potasio pero si la hay para la interacción nitrato-potasio

El Cuadro 7.49 del apéndice para comparación de medias indica que el nivel 2 de nitrato, combinado con el nivel 3 de potasio (7.5 Meq/L X 10.5 Meq/L) induce a una mayor densidad estomática y el nivel 2 de nitrato combinado con el nivel 2 de potasio (7.5 Meq/L X 7.0 Meq/L) indujo una menor densidad estomática lo anterior se confirma en la Figura 4.22. Como se muestra en la correlación de variables Cuadro 7.51 del apéndice la densidad de estomas tiene una correlación positiva de 0.385 a un nivel de significancia de 0.05 con tasa fotosintética, es decir una planta con mayor densidad de estomas tiene un mayor intercambio gaseoso y como consecuencia una mayor tasa fotosintética.

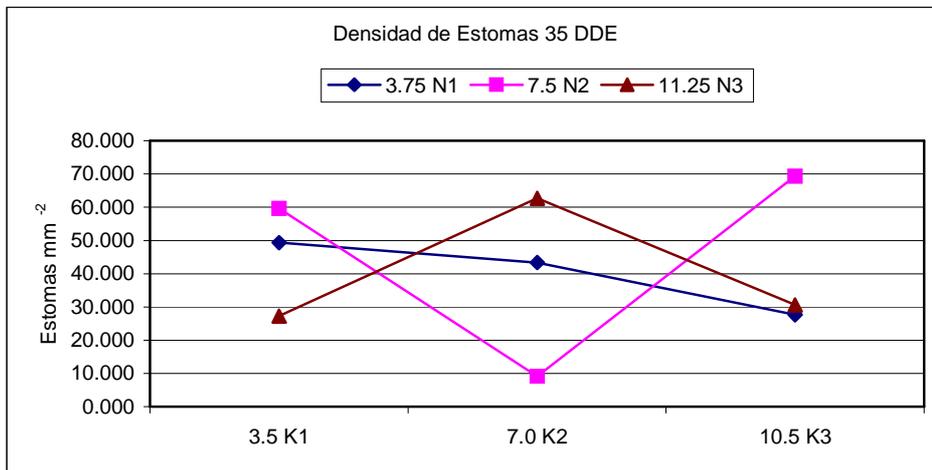


Figura 4.22 Efecto de la interacción  $\text{NO}_3^{-1} - \text{K}^{+1}$  para densidad de estomas.

## V. CONCLUSIONES

Se rechaza la hipótesis nula se generaron ajustes morfológicos para las plántulas de tomate que afectaron su calidad interna y externa, lo anterior en un sistema de producción por sub-irrigación.

Para 12 de las 15 variables evaluadas, presentaron efecto significativo para nitrato, siendo el nivel 3 (aplicación de 11.25 Meq/L de  $\text{NO}_3$ ) el más adecuado en 10 de los casos.

Es factible obtener una plántula terminada aproximadamente a los 28 días después de emergencia y con niveles adecuados de nitratos, índice de clorofila, densidad estomática, resistencia estomática y área foliar utilizando el nivel 3 de nitrato

Se obtuvieron valores, de parámetros que permitieran trabajar con un enfoque técnico al diagnosticar la calidad de las plántulas en semillero, dichos valores son:

NITRATOS EN JUGOS CELULARES (1000 ppm)

CLOROFILA (220 unidades de SPECTRUM)

DENSIDAD DE ESTOMAS (43 – 44 /mm<sup>2</sup>)

RESISTENCIA ESTOMÁTICA (1.5 s m<sup>-1</sup>)

ÁREA FOLIAR (250 cm<sup>2</sup>)

RELACIÓN ALTURA: DIÁMETRO DE TALLO ALREDEDOR DE 40

Es factible obtener estos valores con la aplicación del nivel 3 de nitrato y el nivel 2 de potasio siempre y cuando la plántula se saque del semillero a los 28 después de emergencia.

## VI. LITERATURA CITADA

Achtnich, W. 1972. Recent developments in water distribution and application with special reference and drainage, paper No. 13 Water Use Seminar Damascus, Syria. 7-13 dec. 1971. pp 196-210.

Biddington, N. L. 1986. The effect of mechanically induced stress in plants – a review. *Plant Growth Regulation* 4, 103-123.

Cadahia, L. C. 1998. *Fertirrigación, cultivos hortícolas y Ornamentales*. Ediciones Mundi Prensa. España.

Cárdenas, T. F. González, V. J., Hernández, J. M. 2003. El cultivo protegido del tomate, en técnica de producción en cultivos protegidos coordinados. Por F. Camacho Ed. Caja Rural Inter Mediterránea, Almería, España. 483-537

Castellanos, J. Z. 2004. *Manual de producción hortícola en invernadero 2<sup>o</sup> Edición*. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. México

Cathey, H. M. 1964. Physiology of growth retarding chemicals. *Annual Review of Plant Physiology* 15, 271-302.

Cengiz, K., Halil, K., David, H. 2001. Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of potassium and phosphorus in tomato cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Journal of Plant Nutrition*. Volume 24, Number 2 / 2001. 357 – 367

Centeno, G. E. 1986. *El cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) y su mejoramiento genético*. Monografía, Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México..

Cerne, M. C. 1990. Different kinds and levels of nitrogen nutrition in tomatoes  
Acta Hort. (ISHS) 277:179-182

Decoteau, D. R. and Friend, H.H. 1991. Phytochrome-regulated growth of young  
watermelon plants. Journal of the Amer. Soc. of Horticultural Science 116, 512-  
515.

Domingo, R. J. 2000. Panorama actual de los semilleros en España En:  
Planteles, Semilleros y Viveros, Compendios de Horticultura 13-155-167  
Vilarnau, A. y González, J. (coord.) Ed de Horticultura, S. L. Revs, España.

Dumas, Y. 1990. Interrelation of linear measurements and total leaf area or dry  
matter production in young tomato plants. Advances in Horticultural science. 4  
(3): 172-176.

Erwin, J. E. and Heins, R. D. 1990. Don't use B-nine on your vegetable plug –  
it's illegal. Try temperatures for height control. Grower Talks 52(9) 73-74.

Flores, P., Botella, M. A., Vicente, M., Cerda A. 2002. Response to salinity of  
tomato seedlings with a split-root system: nitrate uptake and reduction. Journal  
of Plant Nutrition. Volume 25, Number 1 / 2002. 177 – 187

Gómez, B. JG. 1998. Insumos de calidad: plántulas de calidad. Revista.  
Hortalizas, Frutos y Flores. Publicación periódica. Abril 1998. pp. 22-44

Gray, R. 1997. Foliar fertilization with primary nutrients during the productive  
stage of plant growth. Proc. Fert. Soc.

Guzmán, P. M. 2002. Acondicionamiento nutritivo en semilleros y repuesta  
postrasplante en hortalizas. Universidad de Almería España

Hernández, P. I. 1998. Producción de plántulas de chile poblano cv . San Luis y su efecto sobre el desarrollo y rendimiento. Tesis. Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Jaffe, M. J. 1973. Thigmomorphogenesis: Response of plant growth and development to mechanical stimulation *Planta*. 114: 143-157.

Jaworski, C. A. and Webb, R. E. 1967. Preliminary test on performance of clipped tomato transplants. *Proc. Of the Amer. Soc. Of Horticultural Science*. 6, 550-555.

Kraus, E. J. 1942. Effect of partial defoliation at transplanting time on subsequent growth and yield of lettuce, cauliflower, celery, peppers and onion. *USDA Technical bulletin* 829, 1-35.

Latimer, J. G. y Beverly, R. B, 1993. Mechanical conditioning of greenhouse grow transplants. *HortTech*. 412-414.

León. G. H. M. 1980. El cultivo del tomate para consumo fresco- en el valle de Culiacán. Edición :(INIA) de la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México

Leskovar, D.I., D.J. Cantliffe and P.J. Stoffella. 1994. Transplant production systems nfluence growth and yield of fresh market tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 119:662-668.

Leskovar, D. I. 2001, Producción y ecofisiología del trasplante hortícola. Texas A&M Universisy, USA.

Leskovar, D. I. and Stoffella P. J. 1995. Vegetable seedling root systems: morphology development, and importance. HortSci. 30 (6): 1153-1159.

Leskovar, D. I. 1990. Early transplant growth in relation to fruit yield in tomato. HortScience..25: 140.

Maroto, J. V. 2002. Horticultura herbácea especial. Ediciones. Mundi-Prensa. España. 403-450.

Minero, A. A. 1998. Producción y manejo de trasplantes. II. Sustratos, fertilización y riego. Revista Productores de Hortalizas. Publicación periódica. Abril 1998. pp. 22-24

Muñoz, R. J. J. 2002. Acondicionamiento nutritivo de plántulas de tomate y pimiento en semillero y su respuesta postransplante. Tesis doctoral Universidad de Almería.

Navarrete, M., Jeannequin, B. and Sebillote, M. 1997. Vigour of greenhouse tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.): analysis of the criteria used by growers and search for objective criteria. J. Hort Sci.. 72 (5): 821-829.

Nelson, P. V. 1991. Greenhouse operation and management. 4th Ed Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall.

Nicola, S., Basoccu, L. 1994. Nitrogen and N, P, K relation affect tomato seedling growth, yield and earliness Acta Hort. (ISHS) 357:95-102

Nuez, F. 1995. El cultivo de tomate. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid España.

Önder, T., Füsün, G., Turgay, K. 2000. Effects of nitrogen and phosphorus doses on nutrient uptake of tomato seedlings. ISD Ana Sayfası

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Estadísticas de producción de tomate 2002. [www.fao.org](http://www.fao.org)

Pardossi, A., Tognoni, F. and Lovemore, S. S. 1988. The effect of different hardening treatments on tomato seedling growth, chilling resistance and crop production in cold greenhouse. *Acta Horticulturae* 229, 371-379.

Preciado, R. P., Tijerina, C. L, Martínez, G. A. 2002. Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra Latinoamericana*. Volumen 20. Número 3/2002. 267-276.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2002. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Volumen 1. Cuadro de Estadísticas Agropecuarias. D. F. México.

Schultheis, J. R y Dufault, J. R. 1994. Watermelon seedlings growth, Fruit yield and quality following pretransplant nutritional conditioning. *HortScience* 29: 1264-1269

SICA. (2005). SERVICIO DE INFORMACIÓN Y CENSO AGROPECUARIO DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA DEL ECUADOR [www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Ing%20Rizzo/perfiles\\_productos/tomate.pdf](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Ing%20Rizzo/perfiles_productos/tomate.pdf) -

Suniaga, Q. J. 1990. Nitrogen nutrition of young tomato seedlings. Effects of various nitrogen concentrations on growth and development *Acta Hort. (ISHS)* 277:167-178

Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. In: Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands.

Tremblay, N. y Senécal, M. 1988. Nitrogen and potassium in nutrient solution influence seedling growth of four vegetables species. HortScience 23: 1018-1088

Vásquez, G. V. 2006. Producción de plántula en Invernadero. Cuarto simposio internacional de producción de cultivos en invernaderos 7-8 Septiembre del 2006, Monterrey, Nuevo León, México.

Villareal, Q. J. A. 2005. Apuntes de la Materia Botánica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Went., F. W. 1944. Plant growth under controlled conditions: II Thermoperiodicity in growth and fruiting of the tomato. American Journal of Botany 31, 135-150.

Went, F. W. 1945. Plant Growth under controlled conditions: V. The relation between age, light, variety and thermoperiodicity of tomatoes. American Journal of Botany 32, 469-479.

Widders, I. E. 1989. Preplant treatments of N and P influences growth and elemental accumulation in tomato seedling. Journal of the Amer. Soc. of Horticultural Science 114, 416-420.

Widders, I. E. and Garton, R. W. 1992. Effect of preplant nutrient conditioning on elemental accumulation in tomato seedling Scientia Horticulturae 52, 9-17.

## VII. APÉNDICE

Cuadro 7.1 Análisis de varianza para altura de plántula.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	7 99.723633	399.861816	18.1830	0.000
FACTOR B	2	10.972656	5.486328	0.2495	0.784
INTERACCION	4	176.667969	44.166992	2.0084	0.136
ERROR	18	395.837891	21.990993		
TOTAL	26	1383.202148			

C.V. = 22.48%

Cuadro 7.2 Comparación de medias correspondiente a nitrato para altura de plántula

TRATAMIENTO	MEDIA	
3	27.8444	A
2	20.1744	B
1	14.5667	B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 5.6430

Cuadro 7.3 Análisis de varianza para diámetro de vástago

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	9.523865	4.761932	7.5221	0.004

FACTOR B	2	1.173889	0.586945	0.9272	0.584
INTERACCION	4	1.828918	0.457230	0.7223	0.590
ERROR	18	11.395020	0.633057		
TOTAL	26	23.921692			

C.V. = 18.11%

Cuadro 7.4 Comparación correspondiente a nitrato para diámetro de vástago

TRATAMIENTO	MEDIA
3	5.2056 A
2	4.1778 B
1	3.8000 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 0.9574

Cuadro 7.5 Análisis de varianza para relación altura de plántula/diámetro de vástago

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	1429.3554	714.677734	6.3461	0.008
FACTOR B	2	12.0585	6.029297	0.0535	0.948
INTERACCION	4	744.8242	186.206055	1.6534	0.204
ERROR	18	2027.1015	112.616753		
TOTAL	26	4213.3398			

C.V. = 22.55%

Cuadro 7.6 Comparación de medias correspondiente a nitrato para la relación altura de plántula/diámetro de vástago

TRATAMIENTO	MEDIA
3	55.4975 A
2	47.9551 AB
1	37.7420 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 12.7699

Cuadro 7.7 Análisis de varianza para número de hojas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	2.740723	1.370361	4.1111	0.033
FACTOR B	2	0.518494	0.259247	0.7777	0.522
INTERACCION	4	2.592651	0.648163	1.9445	0.146
ERROR	18	6.000000	0.333333		
TOTAL	26	11.851868			

C.V. = 9.74%

Cuadro 7.8 Comparación de medias correspondiente a nitrato para número de hojas

TRATAMIENTO	MEDIA
3	6.3333 A
2	5.8889 AB
1	5.5556 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 0.6947

Cuadro 7.9 Análisis de varianza para área foliar.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	136174.43	68087.218	37.721	0.000
FACTOR B	2	19956.25	9978.1250	5.5281	0.013
INTERACCION	4	28712.31	7178.0781	3.9768	0.017
ERROR	18	32489.68	1804.9826		
TOTAL	26	217332.6875			

C.V. = 29.16%

Cuadro 7.10 Comparación de medias correspondiente a nitrato para área foliar

TRATAMIENTO	MEDIA
3	245.4866 A
2	105.6867 B
1	85.9333 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 51.1237

Cuadro 7.11 Comparación de medias correspondiente a potasio para área foliar.

TRATAMIENTO	MEDIA
2	183.2933 A
3	133.8967 AB

1                    119.9167   B

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY =    51.1237

Cuadro 7.12 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 1 de nitrato para área foliar

---

TRATAMIENTO	MEDIA
-------------	-------

---

2	126.6767	A
---	----------	---

3	71.2167	A
---	---------	---

1	59.9067	A
---	---------	---

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY =    88.5489

Cuadro 7.13 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 2 de nitrato para área foliar

---

TRATAMIENTO	MEDIA
-------------	-------

---

1	124.2867	A
---	----------	---

3	103.4733	A
---	----------	---

2	89.3000	A
---	---------	---

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY =    88.5489

Cuadro 7.14 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 3 de nitrato para área foliar

---

TRATAMIENTO	MEDIA
-------------	-------

---

2	333.9033	A
3	227.0000	B
1	175.5567	B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 88.5489

Cuadro 7.15 Análisis de varianza para volumen de raíz.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	10.296303	5.148151	9.2729	0.002
FACTOR B	2	0.058521	0.029261	0.0527	0.949
INTERACCION	4	2.019253	0.504813	0.9093	0.519
ERROR	18	9.993332	0.555185		
TOTAL	26	22.367409			

C.V. = 51.45%

Cuadro 7.16 Comparación de medias correspondiente a nitrato para volumen de raíces

TRATAMIENTO	MEDIA	
3	2.3000	A
2	1.1889	B
1	0.8556	B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 0.8966

Cuadro 7.17 Análisis de varianza para longitud de de raíz

FV	GL	SC	CM	F	P>F
----	----	----	----	---	-----

---

FACTOR A	2	3.080811	1.540405	1.0429	0.374
FACTOR B	2	0.769775	0.384888	0.2606	0.776
INTERACCION	4	6.636963	1.659241	1.1234	0.377
ERROR	18	26.586670	1.477037		
TOTAL	26	37.074219			

---

C.V. = 12.95%

Cuadro 7.18 Análisis de varianza para peso seco de vástago

---

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	0.408655	0.204328	8.0019	0.004
FACTOR B	2	0.081372	0.040686	1.5934	0.230
INTERACCION	4	0.132265	0.033066	1.2949	0.309
ERROR	18	0.459627	0.025535		
TOTAL	26	1.081919			

---

C.V. = 59.10%

Cuadro 7.19 Comparación de medias correspondiente a nitrato para peso seco de vástago

---

TRATAMIENTO	MEDIA	
3	0.4442	A
1	0.1893	B
2	0.1776	B

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 0.1923

Cuadro 7.20 Análisis de varianza para peso seco de raíz.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	0.094129	0.047065	9.0349	0.002
FACTOR B	2	0.006312	0.003156	0.6058	0.561
INTERACCION	4	0.026080	0.006520	1.2516	0.325
ERROR	18	0.093765	0.005209		
TOTAL	26	0.220287			

C.V. = 54.46%

Cuadro 7.21 Comparación de medias correspondiente a nitrato para peso seco de raíz.

TRATAMIENTO	MEDIA	
3	0.2159	A
2	0.0949	B
1	0.0868	B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 0.0869

Cuadro 7.22 Análisis de varianza para nitratos en jugos celulares

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	11635600.0	5817800.0	63.7060	0.000
FACTOR B	2	6175232.0	3087616.0	33.8100	0.000
INTERACCION	4	8569664.0	2142416.0	23.4599	0.000

ERROR	9	821904.0	91322.6
TOTAL	17	27202400.0	

---

C.V. = 19.97%

Cuadro 7.23 Comparación de medias correspondiente a nitrato para nitratos en jugos celulares

---

TRATAMIENTO	MEDIA	
3	2650.0000	A
2	970.0000	B
1	920.0000	B

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 487.3161

Cuadro 7.24 Comparación de medias correspondiente a potasio para la nitratos en jugos celulares

---

TRATAMIENTO	MEDIA	
3	2335.0000	A
1	1193.3334	B
2	1011.6667	B

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 487.3161

Cuadro 7.25 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 1 de nitrato para nitratos en jugos celulares

---

TRATAMIENTO	MEDIA	
-------------	-------	--

---

3	1050.0000	A
1	930.0000	A
2	780.0000	A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 844.0563

Cuadro 7.26 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 2 de nitrato para la nitratos en jugos celulares

TRATAMIENTO	MEDIA	
3	1105.0000	A
1	1050.0000	A
2	755.0000	A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 844.0563

Cuadro 7.27 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 3 de nitrato para la variable nitratos en jugos celulares

TRATAMIENTO	MEDIA	
3	4850.0000	A
1	1600.0000	B
2	1500.0000	B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 844.0563

Cuadro 7.28 Análisis de varianza para potasio en jugos celulares

FV	GL	SC	CM	F	P>F
----	----	----	----	---	-----

---

FACTOR A	2	191840.0	95920.0	0.8749	0.563
FACTOR B	2	1169616.0	584808.0	5.3344	0.015
INTERACCION	4	1868176.0	467044.0	4.2602	0.013
ERROR	18	1973344.0	109630.2		
TOTAL	26	5202976.0			

---

C.V. = 10.55%

Cuadro 7.29 Comparación de medias correspondiente a potasio para potasio en jugos celulares

---

TRATAMIENTO	MEDIA	
3	3311.1111	A
2	3255.5557	A
1	2844.4443	B

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 398.4291

Cuadro 7.30 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 1 de de nitrato para potasio en jugos celulares

---

TRATAMIENTO	MEDIA	
2	3733.3333	A
3	3000.0000	B
1	2533.3333	B

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 690.0995

Cuadro 7.31 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 2 de nitrato para potasio en jugos celulares

TRATAMIENTO	MEDIA
3	3366.6667 A
2	2933.3333 A
1	2900.0000 A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 690.0995

Cuadro 7.32 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 3 de nitrato para potasio en jugos celulares

TRATAMIENTO	MEDIA
3	3566.6667 A
2	3100.0000 A
1	3100.0000 A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 690.0995

Cuadro 7.33 Análisis de varianza para índice de clorofila SPECTRUM

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	18494.250	9247.125	28.9243	0.000
FACTOR B	2	1401.375	700.687	2.1917	0.139
INTERACCION	4	18204.250	4551.062	14.2354	0.000

ERROR	18	5754.625	319.701
TOTAL	26	43854.500	

---

C.V. = 7.86%

Cuadro 7.34 Comparación de medias correspondiente a nitratos para índice de clorofila SPECTRUM

---

TRATAMIENTO	MEDIA	
3	258.3333	A
2	229.5556	B
1	194.3333	C

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 21.5158

Cuadro 6.35 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 1 de nitrato para índice de clorofila SPECTRUM

---

TRATAMIENTO	MEDIA	
2	229.3333	A
3	197.3333	A
1	156.3333	B

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 37.2665

Cuadro 7.36 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 2 de nitrato para índice de clorofila SPECTRUM

---

TRATAMIENTO	MEDIA	
-------------	-------	--

---

1	260.3333	A
3	246.3333	A
2	182.0000	B

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 37.2665

Cuadro 7.37 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 3 de nitrato para índice de clorofila SPECTRUM

---

TRATAMIENTO	MEDIA
1	268.6667 A
3	263.3333 A
2	243.0000 A

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 37.2665

Cuadro 7.38 Análisis de varianza para tasa fotosintética.

---

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	116.7158	58.3579	1.9424	0.171
FACTOR B	2	38.3037	19.1518	0.6375	0.544
INTERACCION	4	505.8422	126.4605	4.2092	0.014
ERROR	18	540.7949	30.0441		
TOTAL	26	1201.6567			

---

C.V. = 44.29%

Cuadro 7.39 Comparación de medias correspondiente a nitrato dentro del nivel 1 de potasio para tasa fotosintética

---

TRATAMIENTO	MEDIA
3	17.2333 A
1	15.8893 A
2	8.7950 A

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 11.4242

Cuadro 7.40 Comparación de medias correspondiente a nitrato dentro del nivel 2 de potasio para tasa fotosintética

---

TRATAMIENTO	MEDIA
1	15.9710 A
2	15.0467 A
3	5.1010 A

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 11.4242

Cuadro 7.41 Comparación de medias correspondiente a nitrato dentro del nivel 3 de potasio para tasa fotosintética

---

TRATAMIENTO	MEDIA
2	18.9137 A
1	8.3317 AB

---

3                    6.0953            B

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY =    11.4242

Cuadro 7.42 Análisis de varianza para resistencia estomática al flujo de gases.

---

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	5.5585	2.779274	5.9629	0.010
FACTOR B	2	0.2637	0.131891	0.2830	0.760
INTERACCION	4	2.0044	0.501104	1.0751	0.398
ERROR	18	8.3896	0.466092		
TOTAL	26	16.2164			

---

C.V. = 61.72%

Cuadro 7.43 Comparación de medias correspondiente a nitrato para resistencia estomática al flujo de gases.

---

TRATAMIENTO	MEDIA
3	1.7308 A
2	0.9214 AB
1	0.6664 B

---

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY =    0.8215

Cuadro 7.44 Análisis de varianza para transpiración

---

FV	GL	SC	CM	F	P>F
----	----	----	----	---	-----

---

FACTOR A	2	426.879	213.439941	5.2580	0.016
FACTOR B	2	305.365	152.682617	3.7613	0.042
INTERACCION	4	319.350	79.837646	1.9668	0.142
ERROR	18	730.675	40.593098		
TOTAL	26	1782.271			

C.V. = 38.91%

Cuadro 7.45 Comparación de medias correspondiente a nitrato para transpiración

TRATAMIENTO	MEDIA
1	21.6144 A
2	15.5279 AB
3	11.9861 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 7.6668

Cuadro 7.46 Comparación de medias correspondiente a potasio para transpiración

TRATAMIENTO	MEDIA
1	21.1285 A
2	14.1615 B
3	13.8384 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 7.6668

Cuadro 7.47 Análisis de varianza para densidad de estomas

FV	GL	SC	CM	F	P>F
FACTOR A	2	208.917	104.4589	0.1778	0.839
FACTOR B	2	225.718	112.8593	0.1921	0.828
INTERACCION	4	9065.066	2266.2666	3.8577	0.019
ERROR	18	10574.457	587.4698		
TOTAL	26	20074.160			

C.V. = 57.53%

Cuadro 7.48 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 1 de nitrato para densidad de estomas

TRATAMIENTO	MEDIA
1	49.3333 A
2	43.3333 A
3	27.6667 A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 50.5172

Cuadro 7.49 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 2 de nitrato para densidad de estomas

TRATAMIENTO	MEDIA
3	69.3333 A
1	59.6667 AB
2	9.2000 B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 50.5172

Cuadro 7.50 Comparación de medias correspondiente a potasio dentro del nivel 3 de nitrato para densidad de estomas

TRATAMIENTO	MEDIA
2	62.6667 A
3	30.6667 A
1	27.3333 A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

TUKEY = 50.5172

Cuadro 7.51 Valores de coeficientes de correlación para algunas variables de interés

	AFOL 250 cm2	ALT	KSAV	CLOR	FOTO
N SAVIA 1000 ppm		0.600 **			
CLOROFILA 220 unidades	0.533 **	0.656 **	0.448 *		
DESTOMAS 43 – 44 /mm2					0.385 *
RESTOMAS 1.5 s m-1	0.439 *	0.557 **		0.486 *	

\*\* Nivel de significancia 0.01

\* Nivel de significancia 0.05