



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

Estado nutrimental, crecimiento y rendimiento
de chile Jalapeño *Capsicum annum L.* bajo la
influencia de diferentes tensiones de humedad
y dosis de fertilizantes aplicados en fertirriego



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A:
JOSÉ MISAEL MENDOZA CRUZ



DIRECTOR DE TESIS: DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

ASESOR INTERNO: DR. GERARDO CRUZ FLORES

MÉXICO D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AL AMOR Y A LA CIENCIA UN ALTAR.

DEDICADA:

A MIS PADRES:

Con todo mi amor y gratitud. Porque han sido la base de mi formación, por su amor y apoyo incondicional, y porque siempre han estado ahí cuando más los he necesitado.

A MIS HERMANOS:

Porque estando siempre juntos somos como un roble y compartimos momentos especiales.

A MI ESPOSA:

Porque vamos caminando juntos, motivándome cada instante que transcurre y alentándome siempre a continuar.

A MIS AMIGOS:

Oswaldo, Selene, Noé y Berenice, compañeros por siempre.

AGRADECIMIENTOS

Especialmente al Dr. Prometeo Sánchez García. Por su valiosa dirección y tiempo prestado para la elaboración de esta tesis.

Al Dr. Gerardo Cruz Flores, quien siempre estuvo al pendiente del desarrollo de la tesis aportando valiosas sugerencias.

A los miembros del jurado.

Dr. Prometeo Sánchez García.
Dr. Gerardo Cruz Flores
Q.F.B. Georgina Rosales Rivera
Biol. Rubén Zulbarán Rosales
M en C. Ma. Socorro Orozco Almanza.

Por sus valiosas observaciones para el enriquecimiento del trabajo.

A MIS MAESTROS:

Y todas las demás personas en mi vida que han sido piezas fundamentales y clave en mi formación académica y humana.

RESUMEN.....	4
I. INTRODUCCION	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
2.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE CHILE.....	8
2.1.1. Clasificación taxonómica del chile.....	8
2.1.2. Datos Históricos.....	9
2.1.3. Fisiología del cultivo	11
2.1.4. Requerimientos ecológicos	13
2.1.5. Requerimientos hídricos	14
2.2. REQUERIMIENTOS NUTRIMENTALES	17
2.2.1 Nitrógeno.....	20
2.2.2. Fósforo	21
2.2.3. Potasio	23
2.3. FERTILIZACIÓN DE LOS CULTIVOS	25
2.4. RIEGO.....	27
2.5. RIEGO LOCALIZADO	27
2.6. EL FERTIRRIEGO	28
2.7. RIEGO POR GOTEO	33
2.8. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	34
2.8.1 Diseño agronómico.....	34
2.8.2. Diseño hidráulico	35
III. OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	36
3.1. OBJETIVO GENERAL	36
3.2. OBJETIVOS PARTICULARES	36
3.3. HIPÓTESIS	36
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
4.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL	37
4.1.1. Ubicación	37
4.1.2. Clima.....	37
4.1.3 Suelo.....	37
4.1.4. Material vegetal	38
4.2. METODOLOGÍA DEL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO	38
4.2.1. Preparación del terreno	38
4.2.2. Siembra.....	38
4.2.3. Transplante	39
4.3. LOS FACTORES DE ESTUDIO.....	39
4.3.1. Tensión de la humedad del suelo.....	39
4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL	41
4.5. EL SISTEMA DE FERTIRRIEGO Y LA APLICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES.....	42
4.5.1 Materiales.....	42
4.5.2. Distribución del fertilizante	42
4.6. VARIABLES DE RESPUESTA	47
4.6.1. Crecimiento.....	47
4.6.2. Parámetros fisiotécnicos.....	48
4.6.3. Dinámica nutrimental	48
4.6.4. Rendimiento	48
4.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	48

V.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
5.1. ÁREA FOLIAR	49
5.2. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	51
5.3. MATERIA SECA.....	53
5.4. ALTURA DE PLANTA	55
5.5. DIÁMETRO DEL TALLO	57
5.6. NÚMERO DE HOJAS	59
5.7. NÚMERO DE BROTES FLORALES.....	61
5.8. DINÁMICA NUTRIMENTAL	63
5.8.1. Nitrógeno.....	63
5.8.2. Fósforo.....	64
5.8.3. Potasio.....	66
5.9. RENDIMIENTO.....	69
VI. CONCLUSIONES	70
VII. BIBLIOGRAFIA.....	71
VIII. ANEXOS	75

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en el campo experimental del programa de hidrocencias, en el colegio de postgraduados, Montecillos, Texcoco. Se utilizó la variedad de chile jalapeño Típico 1 estableciendo el cultivo considerando las recomendaciones del CED INIFAP.

El objetivo de la investigación consistió en analizar la influencia conjunta del riego y la nutrición sobre el cultivo de chile jalapeño cuando se varían los niveles de tensión de la humedad en el suelo, así como la nutrición nitrogenada y potásica, misma que fue diseñada a partir de una estrategia basada en el enfoque del balance nutrimental que toma en cuenta los antecedentes de la unidad edafoclimática, el análisis de suelo, los rendimientos máximos y otros factores que permiten diseñar la fertilización recomendada o ideal para el cultivo.

El diseño experimental que se llevo a cabo fue el llamado diseño de San Cristóbal el cual implica un análisis exploratorio aleatorio, utilizando los siguientes intervalos de variación: Para la tensión de humedad, 300, 600, 900 y 1200 cm de columna de agua. Para la nutrición nitrogenada 290, 340, 390 y 440 kg ha⁻¹ y para la nutrición potásica 10, 50, 90 y 130 Kg ha⁻¹.

Los resultados muestran que los parámetros fisiotécnicos como el área foliar, el índice de área foliar y la materia seca, se ven afectados por las diferentes dosis de fertilizantes y las tensiones de humedad. Lo mismo sucede con los parámetros morfológicos como son el número de hojas y el diámetro del tallo, sin embargo estos últimos no influyen en el rendimiento, pero se encontró que la tensión de humedad tiene un efecto positivo en el rendimiento.

I. INTRODUCCION

En México, los cultivos de chile (*Capsicum annuum* L.), jitomate (*Lycopersicon esculentum*) y la papa (*Solanum tuberosum*) son las principales hortalizas sembradas para el consumo nacional, así como para la exportación. El cultivo de chile en nuestro país, dada la importancia socioeconómica que representa actualmente, ocupa el segundo lugar entre las hortalizas que se siembran en el ámbito comercial.

Este cultivo tiene gran importancia económica, debido al área y valor de su producción y a la cantidad de mano de obra requerida, ya que se necesitan de 100 a 150 jornales por hectárea y por ciclo para las diversas labores cultivables, además de su importancia sociocultural, ya que es fuente inagotable de vitamina C, carotenos y capsaicina; partes indispensables para la dieta del pueblo mexicano, junto con los cultivos de maíz y frijol (Norma, 1980).

En este contexto y para precisar la importancia del chile en México, en 2002, según el anuario estadístico de producción agrícola de la SAGARPA, se contaba con una superficie de 157 000 ha de los cultivares de: Serrano, Ancho o Poblano, Mirasol, Jalapeño, Pasilla, Costeño y de Arbol. También de acuerdo al XVIII censo agropecuario en el periodo de 2001 a 2002 la superficie nacional sembrada de chile fue de 157 000 ha De acuerdo a la publicación anual del INEGI (2000) se tiene una superficie de siembra de 170 583 ha y una producción de 1 809 632 T.

Son pocas las especies de chile de interés para su producción a gran escala, destacando entre ellas el chile jalapeño; mismo que después del chile ancho, se cultiva en una superficie un poco mayor de 40 000 ha anualmente. En este sentido, se advierte que para continuar con la producción comercial de chile jalapeño en la

magnitud señalada, es necesario el control racional de todos los factores que beneficien y restringen su producción.

De acuerdo con Arcos *et al* (1998) entre los estados productores se tiene: Chihuahua con 12 500 ha, además de Veracruz, Baja California Sur, Colima, Coahuila, y Nayarit. Por otro lado destacan Veracruz, Quintana Roo, Oaxaca, Campeche y Chiapas, cuya siembra es de estricto temporal.

En el estado de Guanajuato se carece de información agronómica necesaria para ciertas practicas que afectan el desarrollo del cultivo, siendo una de las principales, la cantidad de agua excesiva que recibe, lo que favorece el ataque de enfermedades como *Phytophthora capsici* y el aprovechamiento inadecuado de este recurso (Norma, 1980).

Los rendimientos y la calidad del producto del cultivo de chile son reducidos por una serie de plagas y enfermedades vírales y fungosas. Dentro de estas últimas la más importante es la conocida como "marchitez", causada por el hongo *Phytophthora capsici* Leo. Se estima que la incidencia de enfermedades en diferentes zonas productoras reduce hasta el 50% de la población de plantas cultivadas; no obstante, en algunas regiones se registran pérdidas totales del cultivo cuando las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo de patógenos (Redondo y Rodríguez, 1987).

A través del fertirriego, particularmente del riego localizado es indudable que el agua y los nutrimentos se suministran inmediatamente disponibles para las plantas. Precizando en esto último, es valido afirmar que a través del riego localizado, debido a que reduce el volumen de suelo humedecido, la eficiencia de la aplicación de los nutrimentos aumenta considerablemente. Así, el fertirriego combina los dos factores principales para el crecimiento y desarrollo de la planta; es decir, la combinación del

agua y los nutrimentos son la clave para alcanzar los altos rendimientos y calidad de las cosechas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cultivo de chile

En México, a todas las especies del género *Capsicum* se les conoce con el nombre de chile, independientemente de la especie botánica. En algunos países de América Latina el chile picante es conocido con el nombre de ají, en Bolivia se le conoce con los nombres de rocoto y chamboroto; en Guatemala, al chile dulce se le denomina pimiento, aunque este nombre puede causar confusión ya que existe una variedad de chile dulce con el nombre especial de pimiento. (García, 1983).

2.1.1. Clasificación taxonómica del chile

División: *Angiospermae*

Clase :*Dycotyledoneae*

Subclase: *Metachlamydeae*

Orden: *Tubiflorae*

Familia: *Solanaceae*

Genero: *Capsicum*

Especie: *annuum*

Variedad botánica: Acuminatum (Fingerth)	serrano y <u>jalapeño</u> .
Grossum (Sendt)	ancho y mulato
Conoides (Miller)	chile de chiapas
Abbruiatum (Fingerth)	morita
Ceraceiforme (Miller)	cascabel
Longum (Sendt)	pasilla

El chile pertenece a la familia *Solanaceae*, y su especie más generalizada es *Capsicum annuum* L., aunque existen otras especies conocidas del género *Capsicum*, entre las que se encuentran los *C. Frutescens*, *C. Chinence* y *C. Pubescens* (Rodríguez, 1988).

2.1.2. Datos Históricos.

En México el chile tiene una gran tradición cultural, se presume o hay restos arqueológicos de este cultivo en el Valle de Tehuacán, Puebla, que datan de los años 7 000 y 5 000 a. C. Se cree que el chile es uno de los primeros cultivos domesticados en Mesoamérica. En varios sitios arqueológicos se han encontrado evidencias de la existencia del chile en la época prehispánica como semillas carbonizadas o partes de ellas, a pesar de que es un material perecedero y no tiene conservación (Eshbaugh, 1968 y Long, 1984).

El chile es una planta cuyo origen botánico se encuentra en América del Sur, concretamente en Perú, Bolivia y Brasil, desde donde se expandió al resto de América Central y Meridional (Huerres y Caraballo, 1988, Maroto, 1989).

Muchos siglos antes de la llegada de los españoles al Continente Americano, el chile era cultivado y utilizado como alimento en la dieta diaria de los pueblos del Hemisferio. Conjuntamente con el maíz, frijol y calabaza constituía la base de su alimentación (García, 1983).

Después del descubrimiento de América, Colón lo llevo a España en 1493, extendiéndose a lo largo del siglo XVI por otros países de Europa, Asia y La India, y poco después en África, constituyéndose en un cultivo de uso y distribución mundial (Maroto, 1989).

El chile es rico en vitaminas y minerales, su contenido de vitamina C es el más alto de todas las especies hortícolas. El sabor picante depende del contenido del alcaloide capseicina y varía desde trazas, hasta el 0.7% en las variedades más picantes (Huerres y Caraballo, 1988). En el Cuadro 1 se presenta la importancia nutritiva del cultivo.

Cuadro 1. Composición nutritiva del chile (*Capsicum annum* L.) por 100 g de producto comestible (Maroto, 1989).

Componentes	Chile Dulce	Chile dulce maduro (rojo)	Chile picante verde	Chile picante maduro (rojo)
Agua (%)	93.4	90.7	88.8	80.3
Prótidos (g)	1.2	1.4	2.3	2.3
Grasas	0.2	0.3	0.2	0.4
Hidratos de carbono (g)	4.8	7.1	9.1	15.8
Fibra (g)	1.4	1.7	1.8	2.3
Cenizas (g)	0.4	0.5	0.6	1.2
Calcio (mg)	9	13	10	16
Fósforo (mg)	22	30	25	49
Hierro (mg)	0.7	0.6	0.7	1.4
Sodio (mg)	13	---	---	25
Potasio (mg)	213	---	---	564
Vitamina A (UI)	420	4450	770	21600
Tiamina (mg)	0.08	0.08	0.09	0.10
Riboflavina (mg)	0.08	0.08	0.06	0.20
Niacina	0.5	0.5	1.7	2.9
Ácido ascórbico (mg)	128	204	235	369
Valor energético (cal)	22	31	37	65

2.1.3. Fisiología del cultivo

La fenología se refiere al conjunto de fenómenos biológicos como floración, fructificación, letargo, etc., que ocurre en diferentes etapas del desarrollo (ciclo biológico) de las plantas y que están ajustados a cierto ritmo biológico (Escalante y Kohashi, 1993).

La importancia de las etapas fisiológicas radica en que se pueden establecer los periodos de mayor crecimiento, mayor producción de biomasa y mayor demanda de nutrimento. Las tasas de absorción de nutrimentos serán mas fácilmente delimitadas de acuerdo a una escala biológica visible, y darán una relativa facilidad para su aplicabilidad con fines de nutrición de cultivos, independientemente del enfoque de fertilización.

En el cultivo de chile pueden delimitarse concretamente las siguientes fases:

Germinación. Aunque el chile es una especie que no posee latencia seminal, es frecuente observar, tras la siembra de esta planta, una mayor tardanza en producirse la germinación y una heterogeneidad en la emergencia (Maroto, 1989).

Maroto (1989) señala que en la rapidez y homogeneidad de la germinación de las semillas de chile influyen diversos agentes físicos (temperatura y humedad, principalmente) y otros factores, tales como la variedad, la edad del fruto del que se han tomado las semillas, las condiciones de conservación de las mismas durante el almacenamiento.

Crecimiento vegetativo. El crecimiento vegetativo se produce a partir de las hojas cotiledonales. creciendo la planta con un tallo único hasta la formación de 10 a 12 hojas (Huerres y Caraballo, 1988).

Floración. Cuando se alcanza el máximo estadio vegetativo, comienza el desarrollo de dos a tres ramas en las axilas de las yemas superiores, produciéndose simultáneamente la diferenciación de un primordio floral en el ápice del tallo principal. Cada ramificación forma una hoja y termina en yema floral, y en la axila floral vuelve a diferenciarse una nueva ramificación. La sucesión de estas ramificaciones que produce en la planta el típico aspecto de cono invertido (ramificación dicotómica) (Huerres y Caraballo, 1988).

Fructificación. La diferenciación de las yemas florales coincide con el máximo crecimiento vegetativo, estos incrementos decrecen cuando se inicia el cuajado de los frutos; por ello se menciona que el crecimiento de las plantas de Chile tienen la característica de la curva de crecimiento sigmoideal. El Chile presenta floración-fructificación en forma simultánea (Huerres y Caraballo, 1988).

Madurez fisiológica. El crecimiento del fruto tiene la misma tendencia del crecimiento sigmoideal, con una fase inicial lenta (desde la fertilización de la flor hasta floración plena), una fase intermedia rápida (formación y desarrollo del fruto hasta inicio de la madurez), y una fase lenta (plena maduración) (Huerres y Caraballo, 1988).

2. 1. 4. *Requerimientos ecológicos*

El cultivo de chile es de clima cálido por lo que no resiste las heladas. A temperaturas menores de 15°C comienza a detener su crecimiento y a menores de 10°C se pueden presentar abortos de las flores; mientras que en el otro extremo, temperaturas muy altas pueden ocasionar la caída de flores y frutos. En general, sobre la influencia de la temperatura se puede concluir lo siguiente: los rangos de temperatura para su germinación oscilan de 23.8 y 29.5°C, de esta manera su emergencia ocurre de 8 a 10 días. Por otro lado, las temperaturas diurnas y nocturnas para su óptimo desarrollo, oscilan entre 8.3 – 26.6°C y 15.5 – 18.3°C, respectivamente.

La intensidad de luz ejerce un papel importante en el desarrollo de las plantas de chile. Cuando las plantas están expuestas a una deficiente luminosidad se afectan morfológica y fisiológicamente, por ejemplo: presentan raquitismo, demoran en florecer y fructificar, el ciclo vegetativo se alarga y la producción de frutos es menor (Huerres y Caraballo, 1988).

El óptimo de humedad relativa se centra entre el 50 y 70%, una humedad relativa del 95% ejerce un efecto negativo sobre la polinización, lo cual ocasiona un menor número de flores polinizadas afectando posteriormente el número de frutos. El chile es muy sensible a las condiciones de baja humedad y alta temperatura ya que provoca una excesiva transpiración, que se manifiesta en la caída de flores y frutos; o bien, una baja humedad del aire afecta el peso de los frutos (Huarres y Caraballo, 1988; Maroto, 1989).

Con relación a sus requerimientos edáficos, aunque se desarrolla en diferentes tipos de suelo, desde arenosos hasta arcillosos, tiene mejores respuestas en texturas limo-arenosos y arenosos. Es un cultivo moderadamente tolerante a la acidez,

reportándose valores propios de 6.8-5.5. Es también moderadamente tolerante a la salinidad, soportando contenidos de sales de 2560 a 6400 ppm (4 a 10 dS m⁻¹) (Valadez, 1998).

2.1. 5. Requerimientos hídricos

En general, los procesos metabólicos en las plantas verdes dependen de la disponibilidad del agua y su escasez puede restringir el crecimiento (Salisbury, *et al.* 1994). La cantidad de agua disponible para las raíces de la planta depende de los factores meteorológicos (balance entre la lluvia y la evapotranspiración) y del suelo (relación entre el contenido de agua en el suelo, potencial hídrico y la conductividad hidráulica).

La relación que guarda el agua con las plantas está determinada por una serie de interrelaciones agua-suelo-planta desde el momento de la germinación, pasando por el desarrollo vegetativo, radicular, la floración y maduración de frutos y semillas (Norma, 1980). En general, el agua se mueve en respuesta a un gradiente de presión, este proceso envuelve tres fases que son el movimiento del agua primero del suelo a las raíces, segundo, el movimiento del agua por la planta hacia las hojas y tercero, el movimiento de vapor de agua de las hojas a la atmósfera. Debido a lo anterior, es necesario considerar que el aumento en el grado de transpiración y aumento en la evapotranspiración diurna, causa un decremento en la presión de turgencia de las hojas superiores y desbalance de las hojas a las raíces (Norma, 1980).

En la actualidad, hay datos sobre los efectos fisiológicos de la elongación celular y la cantidad de agua presente en la planta proponiendo que la presión de turgencia es el

principal factor responsable de la extensión plástica de la pared celular del tejido y por lo tanto, de la elongación del mismo. Además, se han recopilado datos en los que indican que el crecimiento está directamente relacionado con el abastecimiento libre de agua en el periodo de crecimiento. Algunos investigadores demostraron relaciones entre crecimiento y la presión de turgencia a potenciales de agua del suelo de -0.356 y -2.50 bares, aumentando el crecimiento (mg día^{-1}) conjuntamente con la presión de turgencia en varios cultivos. También se ha encontrado una marcada reducción en la elongación del tallo a 10 atm de presión de humedad del suelo (83% de turgencia), misma que no afectó notablemente el rendimiento si se reducía la humedad durante los 30 primeros días de crecimiento (Norma, 1980).

También se encontró en el cultivo del algodón, que la contracción radial del tallo durante el día está directamente relacionada con el contenido de agua en las hojas y asociada con las variables ambientales que afectan la transpiración, éstas contracciones están superimpuestas en la expansión gradual asociada con el crecimiento por lo que se puede predecir en términos de contenido de agua mediante mediciones del mismo (Norma, 1980).

El agua es utilizada por las plantas para la producción de hidratos de carbono, para mantener la hidratación del protoplasma y como vehículo para el transporte de elementos minerales. Bajo deficiencias de humedad, se restringe la elongación celular y por consiguiente, el crecimiento expansivo de la planta (Tisdale y Nelson, 1988; Tijerina, 1994).

El agua es el factor fundamental en el proceso de acceso nutrimental de los cultivos: primero, las raíces que crecen en el suelo húmedo alcanzan un desarrollo más extenso, por lo que pueden interceptar más iones, principalmente en la absorción de calcio y magnesio. En segundo lugar, al producirse la infiltración y redistribución del agua en el suelo, se transportan la mayor cantidad de nitratos, sulfatos, calcio y magnesio a las raíces. En este momento, toma lugar el movimiento de los nutrimentos del suelo a la raíz; dicho movimiento, obedece a dos mecanismos fundamentales como son: el flujo de masas y la difusión. De esta manera, los nutrimentos disueltos en la solución del suelo se mueven a las raíces de las plantas por flujo de masas como resultado de la transpiración y por otro lado, a la difusión de los nutrimentos obedeciendo a un gradiente de concentración que toma lugar principalmente a través de un medio acuoso (Tisdale y Nelson, 1988; Fageria *et al.*, 1997).

En el cultivo de chile jalapeño, Arcos *et al.* (1998) sugieren que para evitar daños a las plantas por falta de humedad en la etapa de desarrollo vegetativo, producción de flores, amarre y desarrollo del fruto, es necesario suministrar agua de riego de manera complementaria durante todo su ciclo de vida.

Contreras (1982) cita que el chile jalapeño requiere de una cantidad de lluvia de 500 mm distribuida uniformemente durante todo su ciclo del cultivo.

Sin embargo, el cultivo de chile jalapeño es muy sensible a las altas variaciones de humedad en el suelo, ya que excesos de agua pueden propiciar la incidencia de enfermedades fungosas sobre el cultivo; mientras que bajo deficiencias de humedad, se afecta también el desarrollo normal del cultivo. Al respecto Martínez y Pacheco (1989) evaluó la incidencia de *Phytophthora capsici* bajo diferentes tensiones de humedad en el suelo en el cultivo de chile jalapeño, encontró que el grado y la velocidad de infección de las plantas fueron mayores en los tratamientos de 1 a 2 atmósferas; sin embargo, la calidad del fruto no fue afectada significativamente.

Ascencio (1993) estudió la respuesta del chile jalapeño a variaciones de los niveles de humedad aprovechable residual al momento del riego, dosis de fertilización nitrogenada y densidad de población bajo riego por surcos y obtuvo una función de producción que relaciona dichas variables de estudio con el rendimiento del fruto. De esta forma, los máximos beneficios fueron con una dosis de 118 kg. ha⁻¹ de nitrógeno, cuando en el suelo existía un 59% de humedad residual aprovechable y una densidad de población de 152 000 plantas ha⁻¹.

2.2. Requerimientos nutrimentales

Arcos *et al.* (1998) reportan que la planta de chile jalapeño demanda grandes cantidades de nutrimentos para producir rendimientos superiores a 40 toneladas por hectárea. En este sentido Nuez *et al.* (1996), sugieren que para conocer las cantidades nutrimentales del chile, es necesario considerar los factores relacionados con las características químicas del suelo, su disponibilidad de nutrimentos para la planta, el tipo de riego y el volumen de cosecha que se pretende obtener. Para esto, son importantes los análisis de suelo y planta a fin de diagnosticar las necesidades de fertilización del cultivo. Por una parte, el primero sirve de base para diseñar los tratamientos de fertilización y el segundo para estudiar en el tiempo la curva de extracción de los nutrimentos. De esta forma es posible definir la aplicación oportuna del fertilizante a través de su ciclo, conjuntamente con la función particular que desempeña cada uno de los nutrimentos en el cultivo (Storlie *et al.*, 1995).

Nuez *et al.* (1996), consignan 11 elementos químicos como los más importantes en el cultivo del chile, destacando por orden de importancia el N, P y K, seguidos por el Ca, Mg, S, Mn, Fe, Cu, B y Zn. Al respecto, la experiencia en la fertilización del chile jalapeño en los estados productores de México se realiza exclusivamente con fertilizantes a base de N, P y K, cuyos rendimientos y calidad han demostrado ser de buenos a excelentes.

En el marco de este contexto, destacan los tres elementos más importantes sobre los cuales descansa el rendimiento potencial de los cultivos, dichos elementos son: el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Así por ejemplo, está demostrado que existe una

estrecha correlación positiva entre el rendimiento medio de los cereales y la tasa media de aplicación de los fertilizantes a base de N, P y K. Es por esto que en todo el mundo, cada vez se hace más necesario aumentar la eficiencia de estos nutrimentos para las plantas (Le Bot *et al.* 1994).

En este sentido, es importante conocer algunos detalles sobre las diferentes rutas a través de las cuales, esos elementos son tomados por las plantas. Por ejemplo, el nitrógeno es un elemento muy móvil entre la atmósfera, el suelo y los organismos; de esta forma, las plantas que nodulan toman a éste de la atmósfera como N_2 . Por otro lado, parece ser que la relación follaje-raíz, está relacionada con el contenido de nitrógeno en la planta.

Se afirma que todos los elementos mayores inducen grandes rendimientos, sin embargo, altos rendimientos son provocados por pequeñas aplicaciones de P más que de K, y pequeñas cantidades de K, más que de N. Aunque concentraciones altas de todos ellos producen aumentos similares.

La absorción del fósforo es continua y se incrementa después de la etapa de crecimiento, cuando el N y el K declinan, por lo que su acción fertilizante incrementa el rendimiento casi al final de la fase. Las plantas toman el fósforo como fosfato ($H_2PO_4^-$) y se ha demostrado que éste se incorpora hasta un 80% a los compuestos orgánicos durante los primeros 10 minutos de haber sido absorbido.

Con relación al K, este ion es absorbido de las partículas del suelo, al igual que el P, por reacciones de intercambio y de esa forma la cantidad de K absorbido determina la capacidad amortiguadora del suelo. Los iones de K^+ pasan a través de las membranas de las plantas y su absorción ocurre mayormente por difusión con intercambio de protones dentro de la solución del suelo (Le Bot *et al.*, 1994).

Para comprender más acerca de las funciones que tienen los macroelementos como el nitrógeno, el fósforo y el potasio en el cultivo de chile jalapeño a continuación se retomarán de manera más detallada.

2.2.1 Nitrógeno

2.2.1.1 Absorción

Los vegetales absorben el nitrógeno en sus formas solubles: nitrato, amonio y otros compuestos nitrogenados solubles. El anión nitrato (NO_3^-), pertenece a la parte aniónica del ácido nítrico (HNO_3). La forma de nitrato es la más utilizada por las plantas.

El catión amonio (NH_4^+) es otra forma importante de absorción. Cuando el amoníaco está disuelto en el agua recibe un protón (H^+) cargándose positivamente. Además, el ión NH_4^+ forma parte de todas las sales amoniacales.

2.2.1.2. Funciones

El nitrógeno se encuentra en la planta cumpliendo importantes funciones biológicas. Es un elemento muy móvil. El nitrógeno mineral (NO_3^- y NH_4^+) una vez en el interior de las células pasa a constituir las bases nitrogenadas para las distintas funciones fisiológicas. El nitrógeno ingresa en la formación de los aminoácidos, luego estos entran en la síntesis de los prótidos y las proteínas del vegetal, constituyendo un elemento plástico por excelencia.

El nitrógeno se halla además, en la formación de las hormonas de los ácidos nucleicos (con función hereditaria) y de la clorofila.

Cuando hay suficiente cantidad de nitrógeno se producen los siguientes efectos:

- Mayor cantidad de clorofila
- Mayor asimilación y síntesis de productos orgánicos.

2.2.2. Fósforo

2.2.2.1. Absorción

El fósforo es un macronutriente esencial para la planta, generalmente en niveles de entre 0.3% y 0.5% del peso seco de la planta es un rango suficiente (Marschner, 1987). El fósforo es oxidado de manera diferente al S y al N dentro de la planta. El fósforo es absorbido rápidamente por las raíces de las plantas y es utilizado en muchos procesos metabólicos. En la savia del xilema la concentración de fósforo es de entre 100 y 1000 veces más alta que la que hay fuera de la raíz, indicando que hay un excesivo gradiente de concentración entre el interior y el exterior de la membrana

de la raíz. De esta manera, la absorción es activa y es manejada por los procesos metabólicos de la respiración (Mengel y Kirkby, 1982). La velocidad de absorción del fósforo es pH-dependiente, con un pH de 4 la absorción es cuatro veces menor que con uno de 8.7. La raíz puede alterar el pH de la rizosfera a través de exudados, como son aminoácidos y ácidos orgánicos, que hacen al fósforo más disponible (Marschner y Romheld, 1987). Algunas especies vegetales tienen más pelos absorbentes resultando una superficie adicional de raíces que pueden absorber aun más fósforo (Misra *et al.*, 1988). El fósforo eficiente (cantidad de crecimiento por unidad de fósforo tomada) se relaciona con el radio de exploración de la raíz y su influencia. (Fohse *et al.*, 1988). La baja eficiencia es relacionada con la poca influencia y un bajo radio de la raíz, sin embargo, la alta eficiencia está relacionada con un alto radio de la raíz. La absorción del fósforo puede ser influenciada por otros nutrientes de las plantas. Por ejemplo, un incremento en la relación fósforo/nitrógeno aumenta la absorción de fósforo y baja los niveles de nitrógeno (Adalsteinsson y Jensen, 1988).

Una aproximación del estudio de la respuesta de las plantas al fósforo es mediante el desarrollo de modelos de este mecanismo. Barber (1988), describe uno de esos modelos para predecir la absorción de fósforo en términos de crecimiento y morfología de la raíz, la absorción cinética de nutrientes y sitios de intercambio de nutrientes en la raíz por difusión y flujo de masas en el suelo. La planta responde a la baja disponibilidad de fósforo de diferentes maneras: como diferentes mecanismos de absorción activa, a través de exudados, aumentando el desarrollo de la morfología de la raíz e incrementando el radio de influencia.

2.2.2.2. Enzimas

El fósforo en las plantas se encuentra principalmente como ortofosfatos inorgánicos y como pirofosfatos (Mengel y Kirkby, 1982; Marschner, 1986). Los compuestos de fósforo orgánico son esenciales para los procesos metabólicos y es especialmente activo en la transferencia de energía. En las plantas, como en todos los seres vivos, la transferencia de energía es a través del adenosintrifosfato (ATP) que es un compuesto de alta energía, donde experimenta una reacción hidrolítica liberando una gran cantidad de energía. La reacción hidrolítica de ATP a ADP (adenosindifosfato) libera 8000 cal a un pH igual a 7. De esta manera muchos procesos metabólicos usan al fósforo en forma de ATP para proveer la energía que active las reacciones. La síntesis de almidón y la fijación de carbono son reguladas por el fósforo, además del metabolismo de carbohidratos y la translocación de la sacarosa.

Los compuestos lipídicos que son importantes en las biomembranas también contienen fósforo. Otro compuesto fósforo-orgánico es la fitina que se encuentra comúnmente en las semillas. El material genético como el ADN y el ARN dependen del fósforo como un elemento estructural.

2.2.3. *Potasio*

2.2.3.1. *Absorción*

El potasio es el elemento mineral más abundante en las plantas, es absorbido en grandes cantidades (Leonard, 1985). Del total de las especies catiónicas en el floema el potasio ocupa cerca del 80% (Mengel y Kirby, 1982). El potasio se mueve en la solución del suelo por simple difusión y flujo de masas (Leonard, 1985), esta absorción es regulada por difusión desde la matriz del suelo hacia la superficie de las raíces (Ohno y Grunes, 1985).

El potasio es tomado en grandes cantidades durante el periodo vegetativo de crecimiento. Después existe un decremento en la demanda, al mismo tiempo que se reduce relativamente la velocidad de crecimiento (Kuhlmann y Barraclough, 1987). En algunas plantas como el tomate, la velocidad de absorción del potasio es grande durante la fructificación (Widders y Lorenz, 1982). El potasio dentro de las enzimas estructurales es importante en la síntesis de proteínas, a través del papel que desempeña en el ARNm de los ribosomas y asiste en el mantenimiento del balance electrostático y turgencia, manteniendo la célula unida a otros cationes (Luttage y Clarkson, 1989).

La primera fase en la absorción del potasio por la raíz, es el transporte a través de la membrana plasmática de las células corticales. La velocidad de absorción es influenciada por: la velocidad de transporte del tejido, la competencia de la concentración del ion, la necesidad de energía metabólica y la magnitud del diferente

potencial eléctrico de la membrana plasmática. El contenido de potasio en el tejido es regulado por la velocidad de absorción de potasio. Así, la concentración de potasio es incrementada cuando la velocidad de absorción de potasio se incrementa proporcionalmente a un punto crítico. La velocidad de absorción de potasio está directamente relacionada con el contenido de ATP de las células de la raíz. La energía para el transporte del potasio dentro de las células, cuando no es tomada del ATP, es proporcionada por la diferencia de potencial en ambos lados de la membrana (Leonard, 1985).

2.2.3.2. Enzimas

El potasio posee una carga electrónica, es móvil, y se combina con el oxígeno, aniones y formas complejas (Widders *et al.*, 1982). El potasio activa dos tipos de reacciones enzimáticas: reacciones de transferencia de fosforil y la eliminación de grupos heterogéneos y reacciones hidrolíticas (Widders *et al.*, 1982; Mengel, 1985).

2.3. Fertilización de los cultivos

Para generar y precisar la fertilización de los cultivos se utiliza un enfoque de sistemas, donde interactúan el suelo, la planta, el clima y el hombre.

Con base en lo anterior, es posible diseñar para el cultivo su nivel óptimo de nutrición, para aspirar con ello a obtener un rendimiento lo más cercano al máximo posible (Etchevers, 1997).

Rodríguez (1987) introdujo el enfoque de balance nutrimental que involucra así, la unidad edafoclimática, el análisis de suelo, el manejo previo y los residuos de cosecha, según el nutrimento de que se trate, con lo que puede dar lugar a una mayor precisión en las recomendaciones de fertilización. Este enfoque parte de que la base de las necesidades de fertilización está dada por la demanda de nutrimentos que tiene un cultivo, la cantidad que suministra el suelo y la eficiencia del fertilizante aplicado, obteniendo la siguiente fórmula:

$$DF = \frac{DC - SNC}{Ef}$$

Donde: DF, es la dosis de fertilizante; DC, es la demanda del nutrimento por el cultivo; SNC, es el suministro del nutrimento por el suelo y Ef es la eficiencia del fertilizante.

Considerando cada uno de los términos de la ecuación anterior, con relación a la demanda del nutrimento se dice que está dada por la producción de biomasa y la concentración del nutrimento en ella, lo cual resulta de la relación entre el producto de interés y un índice de cosecha que puede ser muy constante para un cultivo determinado. La concentración del nutrimento, aunque varía en las distintas partes de la planta es relativamente constante al momento de la madurez fisiológica, al rendimiento potencial para distintas condiciones de producción y sin limitaciones de manejo (Rodríguez, 1990; Obrador, 1994 Etchevers *et al.*, 1997;).

Con relación al suministro por el suelo, comprende por un lado, la capacidad del suelo para suministrar el nutrimento y por otro, la eficiencia de la planta para disponer del nutrimento. Un índice de nutrimentos por el suelo, para el fósforo y el potasio se obtiene del análisis de suelo; no así para el nitrógeno, que es función de: los residuos

de la cosecha y las raíces de los cultivos incorporados y del nitrógeno inmovilizado por el cultivo anterior, cuando el sistema se encuentra en equilibrio (Rodríguez, 1990). Por último, la eficiencia del fertilizante, debido a las variaciones propias entre nutrimentos, depende de factores de la planta, del suelo, del clima, del régimen hídrico, de las características del fertilizante (fuente, solubilidad y forma) y de manejo (método y oportunidad de aplicación) del fertilizante (Rodríguez, 1990).

Con la finalidad de estimar las cantidades nutrimentales que demandan los cultivos, es básico el análisis foliar ya que puede indicar con precisión y rapidez la situación real del balance entre elementos, pues indica el contenido de los mismos en el follaje de la planta al momento de obtener la muestra. Sobre todo, permite conocer si algún microelemento está en bajas o altas cantidades, antes de que se manifiesten sus síntomas y por lo tanto, afecten severamente a la planta.

2.4. Riego

Debido al pobre y superficial sistema radical que se desarrolla principalmente cuando se recurre al trasplante, la planta de chile jalapeño es muy afectada por la carencia de agua en el suelo, lo cual hace deficiente su establecimiento en el terreno, su crecimiento radical y vegetativo y su producción de fruto. El rendimiento puede aumentarse mediante el suministro oportuno y suficiente de agua, de acuerdo a las necesidades fisiológicas de la planta y las condiciones ambientales de lluvia, temperatura, evaporación y del mismo suelo (Rojas, 1981).

Existen diferentes tipos de riego entre los que destacan el riego por gravedad o por surcos, el riego por aspersión y el riego por goteo.

2.5. Riego localizado

En este sistema se promueve una adecuación positiva de las raíces a condiciones del bulbo húmedo, de esta forma, se estima que la densidad de raíces se incrementa 3 o más veces respecto al valor normal bajo sistemas de riego convencionales.

2. 6. El fertirriego

Actualmente se ha creado un sistema que permite la aplicación de los fertilizantes y más concretamente, la de los elementos nutritivos que precisan los cultivos, junto con el agua de riego; dicho sistema se conoce como fertirrigación. Naturalmente, no todos los tipos de riego permiten realizar la fertirrigación, debido a que la exigencia principal es obtener la máxima uniformidad en la aplicación. De hecho, la fertirrigación se asocia básicamente con los riegos localizados de alta frecuencia (riego por goteo, exudación, microaspersión, etc.), sin perjuicio de su posible aplicación en otros casos (aspersión) (Domínguez, 1996).

En la actualidad, la aplicación de tecnologías debe estar atada con algunos aspectos, tales como económicos, sociales y ecológicos. Por lo que la fertirrigación debe constituirse viable desde el punto de vista técnico, además, económicamente factible, socialmente aceptable, y por último, ecológicamente sustentable.

El fundamento anterior obliga a pensar que el fertirriego debe de ser una técnica de aplicación racional de fertilizantes a través de un sistema de riego eficiente, considerando la demanda nutrimental del cultivo, las características del clima, suelo y agua, y orientada hacia la productividad de los cultivos (Dagobiet, 1999).

La fertirrigación tiene varias ventajas, entre las que podemos enumerar:

1. Aplicación precisa y uniforme de los fertilizantes
2. La cantidad y concentración de los nutrimentos se puede adaptar de acuerdo a las necesidades de las plantas y las condiciones climáticas.
3. Mejora la eficiencia de los fertilizantes y reduce el lavado de los nutrimentos por debajo de la zona radical.
4. Ahorro de tiempo en las labores.
5. Incrementa el rendimiento y la calidad de las cosechas.
6. Compatible con todos los sistemas y tipos de riego.
7. Permite el establecimiento de cultivos en zonas marginales o en diferentes tipos de suelo.

La practica de la fertirrigación se inició en California en 1930, lógicamente se ha desarrollado paralelamente con el riego por goteo o similares, así en el año de 1974 solo existían en todo el mundo unas 85,000 ha de este tipo de riego. Posteriormente se produjo una explosión en el crecimiento de la superficie regada por este método en todo el mundo, hasta el punto que se ha superado por mucho el millón de hectáreas. Los países de mayor tradición y experiencia son EUA (principalmente California), Australia, Sudáfrica, México e Israel, además de España (Domínguez, 1996).

Como se ha dicho anteriormente, la fertirrigación tiene por objeto aprovechar el flujo de agua en los sistemas de riego, utilizando el agua como vehículo para transportar los elementos nutritivos que necesita la planta como complemento de los que le puede proporcionar el suelo, hasta la zona del mismo en la que proliferan preferentemente las raíces o rizosfera. Esta posibilidad ofrece, al mismo tiempo, la oportunidad de optimizar los dos factores de mayor incidencia de explotación agrícola: el agua y los nutrientes. Con ello, y de forma complementaria, se asegura la conservación del medio ambiente, al reducir la contaminación de las aguas subterráneas con un exceso de nitratos. La fertirrigación va ligada a los tipos de riego que básicamente son dos:

Riegos de baja frecuencia y alto caudal, en los que generalmente se moja toda la superficie del suelo tales como los de inundación y los de aspersion.

Riegos de alta frecuencia y bajo caudal, en los que se incluyen todos los riegos localizados, que en general, no humedecen mas que una parte de la superficie.

Aunque existen ventajas en ambos casos, son mucho más numerosas e importantes en el segundo caso en la medida en que el control de riego y de la fertirrigación es mayor y por lo tanto, la calidad y eficiencia de la fertilización; entre las ventajas más destacables pueden citarse las siguientes, según Domínguez (1996):

- ✓ Sinergia o interacción positiva entre el agua y los elementos nutritivos.
- ✓ Facilidad de aplicación de los productos fertilizantes con el consiguiente ahorro de mano de obra.
- ✓ Oportunidad en la aplicación de los fertilizantes, adecuando la aplicación a las necesidades del cultivo.
- ✓ Control de la dosificación y de la uniformidad de la distribución.
- ✓ Mejora de la localización de los nutrientes cerca de las raíces.
- ✓ Posibilidad de aportar otros productos químicos (quimirrigación)

Por otra parte, la fertirrigación puede ser muy similar a la técnica de hidroponía (o cultivo sin suelo). Una de las diferencias radica en que en esta última se utilizan estratos inertes como sostén y como materiales auxiliares para que se dé el acceso nutrimental. Esta semejanza puede llegar a ser muy estrecha sobre todo si se practica la fertirrigación en suelos muy arenosos (Dagobiet, 1999).

Ante tal situación existe un antecedente de fertirrigación (o hidroponía) en el cultivo de chile Mirasol en la región del Altiplano Potosino. Gutiérrez (1987) realizó un trabajo experimental con el objetivo de evaluar la eficiencia de tres soluciones nutritivas sobre la producción del cultivo de chile, en un sistema hidropónico por irrigación superficial (por goteo) utilizando como sustrato arena y dos tipos de agua (diferente calidad química). Como parte de sus resultados encontró que la composición química del agua de riego interactuaba con los nutrimentos aplicados mediante soluciones nutritivas, y afectaba el rendimiento de los cultivos. De este modo, con el agua salina se obtuvo la menor cantidad de frutos acumulados debido en parte a una mayor

salinidad ($CE=1.61dSm^{-1}$) y a un mayor pH (8.2) con relación al otro tipo de agua ($CE=1.31dSm^{-1}$, $pH=7.2$).

Dentro de sus resultados, dicho autor encontró que, la solución CP resultó ser la más inapropiada para ser utilizada en sistema de hidroponía o fertirrigación para el cultivo de chile en los suelos arenosos del Altiplano Potosino.

Estos resultados demuestran que en la nutrición de los cultivos, es de gran importancia considerar la composición iónica y otros parámetros de calidad del agua de riego para hacer los ajustes necesarios en la solución nutritiva a emplear, en el caso de la hidroponía y para el caso de la fertirrigación, incluir el suministro nutrimental del suelo.

Las magnitudes de humedad y la nutrición son estrictamente controlables. Generalmente en los cultivos fertirrigados la humedad se mantiene constante y sólo se varían los niveles de nutrición. De esta manera el fertirriego resulta incompleto, ya que no se considera el manejo del riego que implique el uso eficiente de los nutrientes, es decir, más que medir o estimar la evapotranspiración para calcular la frecuencia del riego localizado, es muy útil conocer la tensión de humedad en el suelo, pues esta proporciona una idea de la energía que utilizan las plantas para absorber el agua del suelo. En este sentido se afirma que una vez que se determinan las tensiones de humedad favorables para un cultivo en particular, estas son fácilmente transferibles entre localidades para diferentes propiedades de suelo y clima (Pier y Doerge, 1995; Thompson y Doerge, 1995a, 1995b, 1996a).

2.7. Riego por goteo

Esta conformado por 3 partes fundamentales: El cabezal de riego, la red de tuberías y los emisores.

Dentro del cabezal de riego se encuentra el filtro de arena, el sistema de fertirrigación, el filtro de malla y el contador de agua.

La red de tuberías se divide en cuatro: La tubería principal, la secundaria, la terciaria y la lateral, el diámetro de las tuberías depende de las necesidades de riego.

Los emisores son dispositivos que regulan y dosifican el flujo del agua y los fertilizantes en forma de gotas continuas.

Las ventajas que este sistema ofrece son:

- Reduce el gasto de energía de las plantas para absorber el agua, debido a que mantiene el nivel óptimo de humedad, de nutrientes y aire en el suelo.
- Permite la aplicación de fertilizantes y plaguicidas en el agua de riego, aumentando la eficiencia de los mismos y reduciendo los costos para su aplicación.
- Propicia una mayor eficiencia en la distribución del agua.
- Permite el uso de aguas con mayor contenido de sales, las cuales no serían recomendables en otro tipo de riego, debido a los mayores volúmenes empleados.

- Posibilita la automatización de todo el sistema de riego, además permite un ahorro de mano de obra y energía.
- Facilita el control de la maleza, al evitar distribuir el agua en áreas donde no existe la raíz.
- Disminuye considerablemente los riesgos de la incidencia de nemátodos, hongos y bacterias, así como la asfixia radical.
- Aumenta los rendimientos de manera más constante que los otros tipos de riego.

Las desventajas que presenta son:

- ❖ Requiere una gran inversión económica inicial, para adquirir el equipo necesario.
- ❖ Exige una gran preparación por parte del productor, para el manejo eficiente del sistema y máximos rendimientos.
- ❖ Existe el riesgo de que al usar aguas con altos contenidos de sales puedan obstruir los emisores.

2.8. Diseño del sistema de riego por goteo

2.8.1 Diseño agronómico

1. Para diseñar el sistema desde el punto de vista agronómico es necesario calcular las necesidades hídricas del cultivo, tomando en consideración las propiedades físico-químicas del suelo, el clima, temperatura y el uso consuntivo de la planta.

2.8.2. Diseño hidráulico

Para la determinación del diseño hidráulico se tiene que conocer el tipo de flujo que tendrán el sistema y las pérdidas ocasionadas por la fricción del agua en las líneas regantes, de distribución y de abastecimiento. En el sistema de riego por goteo interesa un flujo estable y uniforme. Así mismo, determinar la dosis, frecuencia y tiempo de riego, número de emisores por planta, gasto por emisor, y disposición de los emisores.

III. OBJETIVOS E HIPOTESIS

3.1. Objetivo general

Determinar el estado nutrimental, crecimiento y rendimiento del chile jalapeño *Capsicum annum L.* sometido a diferentes dosis de fertilización y tensiones de humedad, en condiciones de riego por goteo.

3.2. Objetivos particulares

- Determinar la mejor tensión de humedad con la cual el cultivo de chile jalapeño absorbe mejor los nutrimentos y al mismo tiempo mejora su desarrollo.
- Determinar la dosis óptima de nitrógeno y potasio que satisfaga las necesidades nutrimentales de la planta de chile.
- Analizar el desarrollo y crecimiento de la planta del chile jalapeño a través de parámetros fisiotécnicos del cultivo, área foliar y producción de materia seca.
- Evaluar el rendimiento del cultivo de chile jalapeño por efecto del fertirriego por goteo.

3.3. Hipótesis

El crecimiento y estado nutrimental del chile jalapeño son fuertemente influenciados por los niveles de humedad y nutrimento aplicados en fertirriego por goteo. Por lo tanto, con el nivel óptimo de dichos parámetros se maximizará el desarrollo y productividad del cultivo.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del sitio experimental

4.1.1. Ubicación

El presente trabajo se realizó en el Colegio de Posgraduados, en la localidad de Montecillos, Texcoco, Edo. de México. Ubicado en el Km. 35.5 de la carretera México-Texcoco; particularmente en el campo experimental del programa en Hidrociencias, con una ubicación geográfica de 19°21' Latitud Norte y 90°54' Longitud Oeste, y una altitud de 2250 msnm.

4.1.2. Clima

El clima es $c(W_o)(W)b(i')$, que corresponde a la categoría de clima templado subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es de 625 mm y la temperatura media anual es de 16°C; la evaporación media anual es ligeramente superior a 1400 mm, la humedad relativa media anual es ligeramente superior al 60%.

4.1.3 Suelo

Con base en su textura, el suelo es migajón arenoso, profundo y con una densidad aparente promedio en los primeros 30 cm de 1.37 g/cm³. Tiene una salinidad relativamente alta y un pH de 7.33. (Anexo 2).

4.1.4. Material vegetal

Se utilizó la variedad de chile jalapeño Típico 1, seleccionada en el Campo Experimental del INIFAP de Delicias, Chihuahua.

4.2. Metodología del establecimiento del cultivo

Para establecer el cultivo de chile se consideraron las recomendaciones del paquete tecnológico para la producción de chile jalapeño del CED-INIFAP.

4.2.1. Preparación del terreno

Se realizó un barbecho y un rastreo, para después hacer un surcado (cada surco de 10 m de largo) con una distancia entre ellos de 0.9 m. Posteriormente se conectó la cintilla a las líneas secundarias del sistema de riego, uniéndola sobre el lomo de cada surco y sellando el extremo terminal de la cintilla por surco. También se instaló un manómetro en tres terminales al azar, para conocer la presión con la que llega el agua.

4.2.2. Siembra

La siembra se realizó en almácigo, en cajas de poliestireno de 200 divisiones, rellenas con un sustrato comercial (Peat Moss), para garantizar la adecuada germinación de la semilla e inmediatamente después se colocaron tres semillas por división y se aplicaron los riegos a fin de proporcionar las condiciones óptimas para su germinación. Así mismo, las plantas se mantuvieron en estricto

cuidado bajo condiciones de invernadero hasta que alcanzaron la altura de 10 a 15 cm. que fue la altura óptima para su transplante. Esta fase comprendió el periodo de la segunda quincena de marzo hasta el 19 de mayo de 1999, fecha en la que se estableció el experimento en campo.

4.2.3. Transplante

Previamente al transplante se aplicó un riego hasta la formación del bulbo húmedo cercano al punto de saturación.

El transplante se hizo en hileras sencillas sobre el surco, abriendo hoyos de dimensiones más o menos del tamaño del cepellón (2.5 x 2.5 x 5 cm), espaciados a cada 30 cm.

A partir de esta labor, el manejo agronómico subsiguiente se realizó basándose en el paquete tecnológico del chile jalapeño ya antes mencionado.

4.3. Los factores de estudio

4.3.1. Tensión de la humedad del suelo

Se realizó una caracterización hidrodinámica del suelo; es decir, las relaciones entre el contenido volumétrico de humedad (θ ; cm^3/cm^3), el potencial de presión $h(\theta)$ y la conductividad hidráulica $K(\theta)$.

De esta manera, una vez que se conoció la curva característica de retención de humedad del suelo se fijaron los valores de tensión de humedad cuya dinámica se siguió a través de tensiómetros instalados en la zona de estudio a las profundidades de 0-20 y 20-30 cm. Así, cuando el tensiómetro marcó el valor previamente establecido, se procedió a la aplicación de riego y así sucesivamente para cada valor de humedad.

4.3.1.1. Trabajo de campo

1. Se hizo un muestreo del suelo para su caracterización físico-química a una profundidad de 0-20 y 20-30 cm, en ocho puntos del terreno.
2. Las muestras se secaron y se tamizaron para determinar la densidad aparente (θ_b) y densidad de sólidos (θ_s).

4.3.1.2. Trabajo de laboratorio

Se realizó un secado y tamizado de las muestras para la formación de una muestra compuesta. Con dicha muestra se obtuvo la caracterización hidrodinámica del suelo. Para este proceso se utilizaron una olla y una membrana de presión para determinar la fracción de humedad (w) contra la tensión en diferentes atmósferas (T).

El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente: se tomaron submuestras de nuestra muestra compuesta (tres por cada tensión) las cuales se saturaron por 24 horas sobre el plato de la olla o la membrana de presión, inmediatamente después cada submuestra se pasó a la olla de presión para determinar la fracción de humedad (W) en función a las diferentes presiones de aire (atm) las cuales van desde 0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 3.0, 5.0, 8.0, 10.0, 12.0, y 15.0 atm. Cada tensión se mantuvo en el equipo por 24 horas, después las muestras se pesaron para obtener el peso del suelo húmedo (psh); posteriormente se metieron a la estufa por 24 horas o hasta obtener el peso constante de las muestras y se determinó el peso seco (pss) para poder obtener el porcentaje de humedad (w).

4.4. Diseño experimental

Se ocupó un diseño "San Cristóbal", con 12 tratamientos, distribuidos en bloques completos al azar, con tres repeticiones. El tamaño de la unidad experimental, fue de tres surcos, cada surco tenía 10 m de largo espaciados a 0.90 m; teniendo una superficie total de 27 m². La parcela útil fue el surco central con una superficie de 9 m². La superficie total del experimento fue de 972 m². La distribución de los tratamientos se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Distribución de los tratamientos.

Tratamiento	T	N	K
1	300	290	10
2	900	290	10
3	300	390	10
4	900	390	10
5	300	290	90
6	900	290	90
7	300	390	90
8	900	390	90
9	600	340	50
10	1200	340	50
11	600	440	50
12	600	340	130

T, es tensión de humedad en cm de columna de agua; N, es el nitrógeno en kg ha⁻¹ y K, es el potasio en kg ha⁻¹

4.5. El sistema de fertirriego y la aplicación de los fertilizantes

4.5.1 Materiales

1. Equipo de fertirriego y sus dispositivos hidráulicos para acoplar la cintilla de goteo.
2. Bomba de inyección de fertilizante (bomba de accionamiento hidráulico).
3. Dispositivos para preparar la solución.
4. Fuentes del fertilizante: NH_4NO_3 y KNO_3 .

4.5.2. Distribución del fertilizante

Aplicación de los tratamientos de fertirriego

Se escogieron las fuentes del fertilizantes, para este caso en particular, se ocupó como fuentes de nitrógeno al NH_4NO_3 (33.5-0-00) y como fuente de potasio al KNO_3 (13-2-44).

Se calcularon las proporciones de cada fórmula o nivel en función a la superficie de la unidad experimental a regar y el número de repeticiones que se riegan simultáneamente.

Aplicación de los fertilizantes

Para este caso en particular, los fertilizantes se aplicaron en proporciones iguales, de acuerdo al calendario de riego, derivado de la curva teórica de UC y de las láminas de riego acumuladas, esto se hizo para cada tratamiento.

Cálculo del riego inicial o de transplante

Se determinó el contenido volumétrico teórico de la humedad residual (θ_r), con base en la siguiente fórmula:

$$\theta_r = E - \theta_s$$

Donde:

θ_s , es el contenido volumétrico de humedad a saturación

$$\theta_s \cong 0.9E$$

$$E = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}\right) 100; (\%)$$

Donde:

ρ_b , es la densidad aparente

ρ_s , es la densidad de sólidos

- i) La humedad residual, se llevó hasta un contenido de humedad próximo al de saturación. Para este caso en particular, se consideró llevar a la humedad hasta 0.1 atm.
- ii) Se considera la profundidad promedio que alcanzan las raíces del cultivo (Pr), para el caso del chile se estima una profundidad de 35 cm.
- iii) Se calculó la lámina de riego inicial.

$$Lr = (\theta_{0.1 \text{ atm}} - \theta_r) * Pr$$

Riegos de auxilio

Cuando la humedad relativa alcanzaba el valor de tensión establecido, entonces se aplicaba un riego de auxilio hasta que nuevamente alcanzaba un valor igual a 0.1 atm, mediante la siguiente metodología:

- i) Se calcula el área de mojado sobre la línea de riego (A_m)

$$A_m = L_s * W_s$$

Donde:

L_s = longitud del surco (m)

W_s = ancho de la banda de mojado (30 cm)

- ii) Se calcula la lámina de riego por aplicar (L_{ri})

$$L_{ri} = (\theta_{0.1 \text{ atm}} - \theta_{ri})$$

- iii) Ahora se calcula el volumen de riego por unidad experimental (V_{rue})

$$V_{rue} = (L_{ri} * A_m); (m^2)$$

El valor obtenido se multiplica por 3, que es el número de tratamientos que se riegan simultáneamente.

iv) Ahora se calcula el gasto de la línea lateral (Ql)

$$Ql = N * qa$$

Donde:

N= numero de emisores por línea de riego

qa= gasto por cada emisor (0.74 lph)

v) Calculo de gasto por unidad experimental (Que)

$$Que = 3 Ql; m^3/h$$

vi) Gasto por tratamiento (Qtrat)

$$Qtrat = 3 * Que; m^3/h$$

vii) Por último se estima el tiempo (t) de operación para completar el riego

$$t = Vtrat / Qtrat; (h)$$

La solución fertilizante se preparó y se inyectó al sistema de fertirriego; a través de la bomba de inyección de fertilizante.

Para cada caso en particular, las proporciones se distribuyeron sobre la base del calendario de riego, derivado de la curva teórica de uso consuntivo en el tiempo y de las láminas de riego acumuladas. (Ver anexo 3)

4.6. Variables de respuesta

4.6.1. Crecimiento.

El crecimiento se determinó mediante las determinaciones de área foliar, índice de área foliar y materia seca.

4.6.1.1. Área foliar

Se determinó el área foliar (AF) a través del muestreo destructivo de tres plantas por tratamiento a intervalos de 20 días, pasando las hojas por un integrador de área foliar electrónico modelo LI-3100, LI-COR, INC LINCOLN, NEBRASKA.

4.6.1.2 Índice de área foliar

Este se estimó con base en la relación entre el área foliar y el área proyectada. Para esto se midió el diámetro del follaje (W_f).

4.6.1.3. Producción de materia seca

Esta se determinó en tallo, hojas y raíz. Para esto, las muestras recolectadas se secaron en una estufa de flujo constante a una temperatura de 80°C durante 48 horas y se pesaron en una balanza analítica con una precisión de 0.001 g .

4.6.2. *Parámetros fisiotécnicos*

Estos parámetros son: altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, y brotes florales, los cuales se determinaron directamente en campo.

4.6.3. *Dinámica nutrimental*

Se estudió el comportamiento de la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio por tratamiento en: hoja, tallo y raíz, por etapas fenológicas. El nitrógeno se determinó por el método de microkjeldahl mientras que el fósforo y el potasio por espectrofotometría de emisión (AES-ICP) a partir de una digestión húmeda triácida (Alcantar y Sandoval, 1999).

4.6.4. *Rendimiento*

El rendimiento se obtuvo únicamente de la parcela útil en kg ha^{-1} .

4.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el fin de determinar él o los tratamientos de fertirriego que más influyeron sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de chile jalapeño bajo las condiciones establecidas para este objetivo, mediante la comparación de medias. Para esto se utilizó el programa estadístico SAS ver 11.0.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

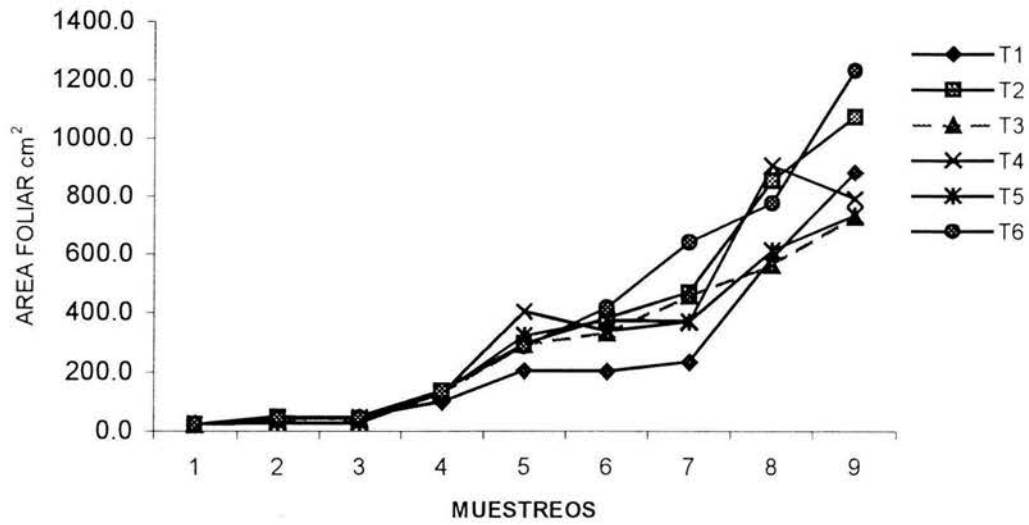
Los resultados obtenidos en los parámetros de crecimiento se muestran a continuación.

5.1. Área Foliar

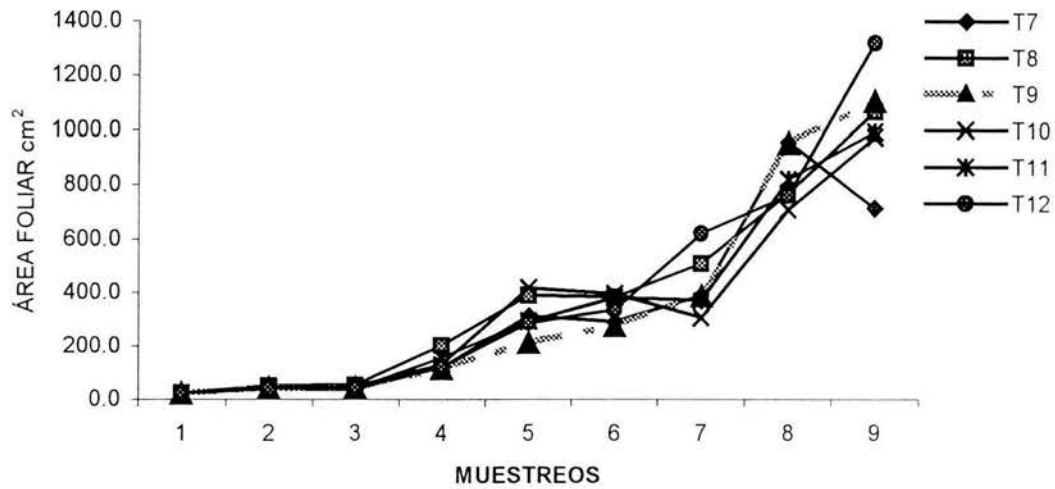
El área foliar nos permite conocer la magnitud de la maquinaria fotosintética que satisface la dinámica de los fotosintatos ejercida por los órganos vegetativos y/o reproductivos en crecimiento (Vega, 1999).

Los resultados obtenidos en esta variable se muestran en las Figuras 1A y 1B. Con el propósito de mejorar la presentación visual de los resultados se presentan dos gráficos en los cuales se separan los tratamientos T1-T6 y T7-T12. Se observa que los tratamientos T6 y T12 fueron los que generaron un área foliar mayor, mientras que los tratamientos T7 y T3 son los que propiciaron un área foliar total más pequeña.

1A)



1B)



Figuras 1A y 1B. Area foliar de plantas de chile jalapeño bajo condiciones de fertirriego. Los tratamientos son los siguientes: en tensión de humedad, nitrógeno y potasio respectivamente. T1, 300, 290, 10. T2, 900, 290, 10. T3, 300, 390, 10. T4, 900, 390, 10. T5, 300, 290, 90. T6, 900, 290, 90. T7, 300, 390, 90. T8, 900, 390, 90. T9, 600, 340, 50. T10, 1200, 340, 50. T11, 600, 440, 50. T12, 600, 340, 130.

Se observa también que a los 120 días después del trasplante (DDT) las plantas de chile jalapeño en todos los tratamientos detuvieron el crecimiento de su área foliar y hasta los 180 DDT alcanzaron el máximo valor.

También se puede observar que todos los tratamientos, en general, siguen un comportamiento similar y al mismo tiempo los resultados concuerdan con los resultados obtenidos por Dagobiet (1999) en su trabajo con una variedad de chile bajo condiciones de hidroponía. El crecimiento de la planta de chile es lento durante el desarrollo vegetativo y éste se acelera cuando entra en la fase de reproducción debido la bifurcación que tiene lugar para dar paso a las yemas florales.

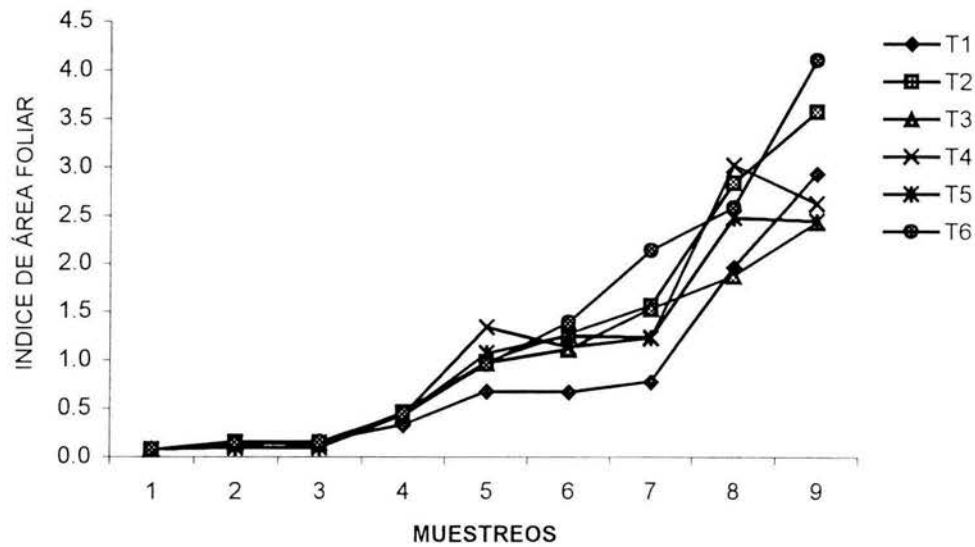
Al realizar el análisis estadístico se encontró que en la comparación de medias (anexo, cuadro 4A) existió diferencias significativas entre los tratamientos T6 y T1 según la prueba de Tukey con una $P < 0.05$, en el muestreo número 7. El tratamiento T6 (N,290, K,90) alcanzó una mayor área foliar seguramente porque se favoreció la absorción nutrimental a una tensión de humedad de 900 cm de agua en comparación con el tratamiento T1 (N,290, K,10) que tuvo una tensión de humedad de 300 cm de agua, y con una cantidad de nitrógeno similar a T6, o posiblemente el potasio presentó sinergismo con nitrógeno, con lo cual se obtuvo una mayor área foliar.

5.2. Índice de área foliar.

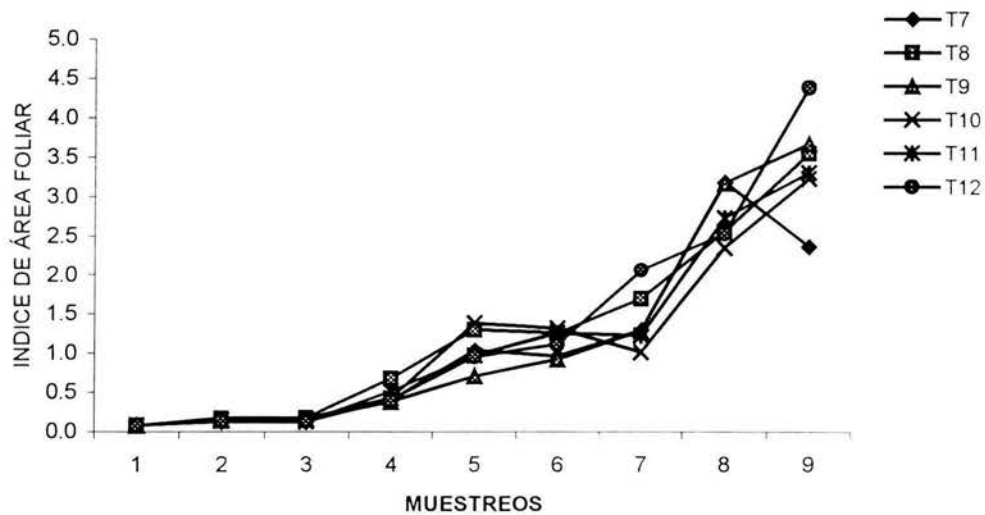
El índice de área foliar (IAF) expresa la cantidad de superficie foliar por unidad de área superficial del suelo. Es por lo tanto un índice de interceptación de radiación por la planta.

Los resultados de esta variable se muestran en las figuras 2A y 2B.

2A)



2B)



Figuras 2A y 2B. Índice de área foliar de plantas de chile jalapeño bajo condiciones de fertirriego. Los tratamientos son los siguientes: en tensión de humedad, nitrógeno y potasio respectivamente. T1, 300, 290, 10. T2, 900, 290, 10. T3, 300, 390, 10. T4, 900, 390, 10. T5, 300, 290, 90. T6, 900, 290, 90. T7, 300, 390, 90. T8, 900, 390, 90. T9, 600, 340, 50. T10, 1200, 340, 50. T11, 600, 440, 50. T12, 600, 340, 130.

Los tratamientos que presentaron un mayor índice de área foliar fueron los tratamientos T6 y T12 mientras que los que alcanzaron un índice de área foliar menor fueron los tratamientos T3 y T7. Lo que corresponde con los resultados de área foliar debido a que el índice de área foliar depende de una manera directa del área foliar y de la morfología.

El índice de área foliar (IAF) y la distribución del área foliar son los principales factores que determinan la intercepción total de luz, lo cual afecta la fotosíntesis, la transpiración, la acumulación de materia seca y el rendimiento (Norma, 1980).

Nuestros resultados en los tratamientos T6 y T12 entran dentro del índice de área foliar óptimo puesto que Norma reporta que el índice de 3.5 es el óptimo sobre un amplio rango de condiciones, mejorando con ello el rendimiento.

5.3. Materia Seca

Otro de los parámetros que permiten conocer la dinámica de crecimiento del cultivo es la producción de materia seca. En las figuras 3A y 3B se observa que al igual que en el parámetro área foliar, los tratamientos T6 y T12 son quienes poseen una cantidad mayor de materia seca. Se aprecia que la producción de materia seca en los primeros 120 días después del transplante (DDT) es muy lenta, mientras que durante los siguientes 30 días la producción de ésta es muy acelerada, lo que corresponde con la producción de área foliar. A mayor crecimiento de área foliar mayor producción de materia seca. Se observa además, que en los últimos días del experimento la producción de materia seca se incrementó en todos los tratamientos.

3A)

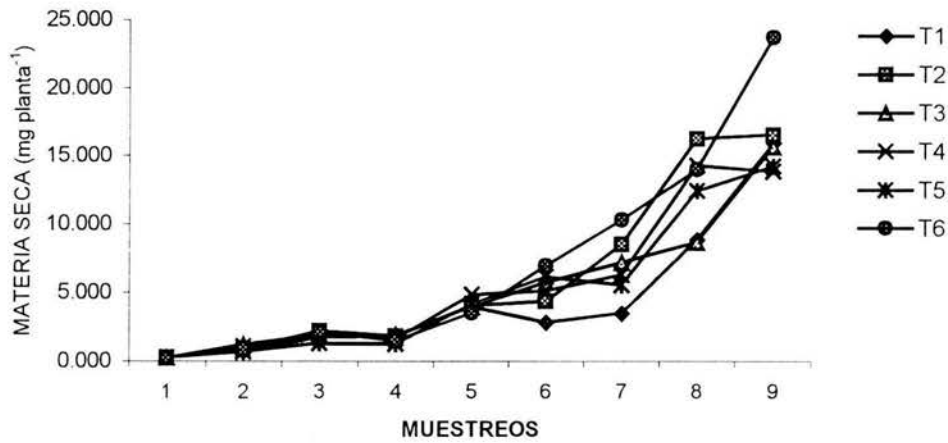
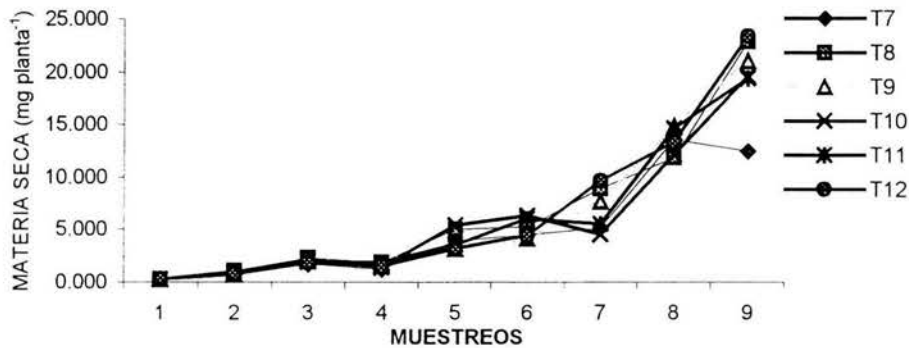


Figura 3B)



Figuras 3A y 3B. Materia seca en chile jalapeño en condiciones de fertirriego. Los tratamientos son los siguientes: en tensión de humedad, nitrógeno y potasio respectivamente. T1, 300, 290, 10. T2, 900, 290, 10. T3, 300, 390, 10. T4, 900, 390, 10. T5, 300, 290, 90. T6, 900, 290, 90. T7, 300, 390, 90. T8, 900, 390, 90. T9, 600, 340, 50. T10, 1200, 340, 50. T11, 600, 440, 50. T12, 600, 340, 130. Figura 6B. Materia seca en chile jalapeño bajo condiciones de fertirriego. Para poder observar mejor los valores se representan en dos gráficas

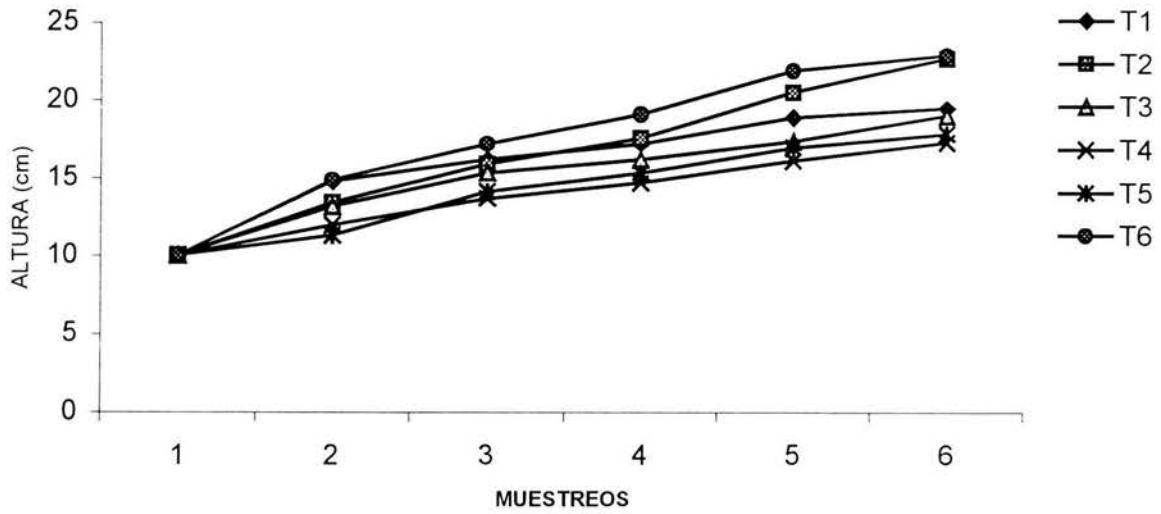
Al realizar el análisis estadístico se encontró que la comparación de medias entre los tratamientos T6 y T1 del muestreo numero 7 (Cuadro 4A) mostró diferencias significativas según la prueba de Tukey con una $P>0.05$.

5.4. Altura de planta

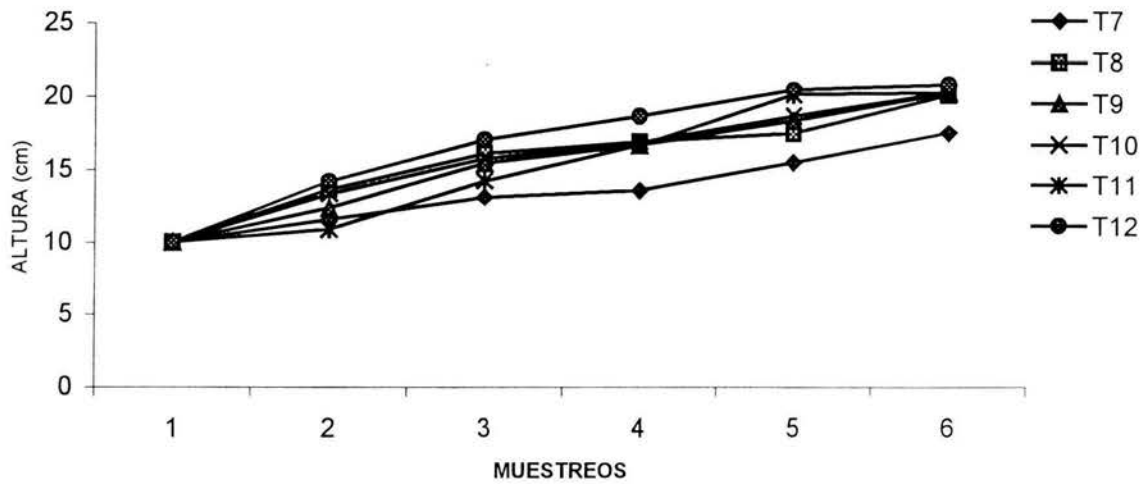
Los resultados de la altura de las plantas se muestran en las Figuras 4A y 4B. Aquí se observa que los tratamientos T6 y T2 fueron los que presentaron una mayor altura, por lo que podemos inferir que posiblemente la tensión de humedad de 900 cm de columna de agua y la fertilización de N de 290 Kg ha⁻¹ es la que permitió el mejor desarrollo de la planta.

Mientras que los tratamientos T7, T4 y T5 son los que presentaron una menor altura. Al hacer la correlación del crecimiento entre el número de días se observó también un crecimiento general de 0.11 cm dia⁻¹ alcanzando todas las plantas el nivel promedio que especifican en el paquete agronómico del CED-INIFAP. Al realizar el análisis estadístico se encontró que la comparación de medias (Cuadro 4A) no existió diferencias significativas entre los tratamientos aplicados según la prueba de Tukey con una $P>0.05$.

4A)



4B)



Figuras 4A y 4B. Altura de las plantas de chile jalapeño bajo condiciones de fertiriego. Los tratamientos son los siguientes: en tensión de humedad, nitrógeno y potasio respectivamente. T1, 300, 290, 10. T2, 900, 290, 10. T3, 300, 390, 10. T4, 900, 390, 10. T5, 300, 290, 90. T6, 900, 290, 90. T7, 300, 390, 90. T8, 900, 390, 90. T9, 600, 340, 50. T10, 1200, 340, 50. T11, 600, 440, 50. T12, 600, 340, 130.

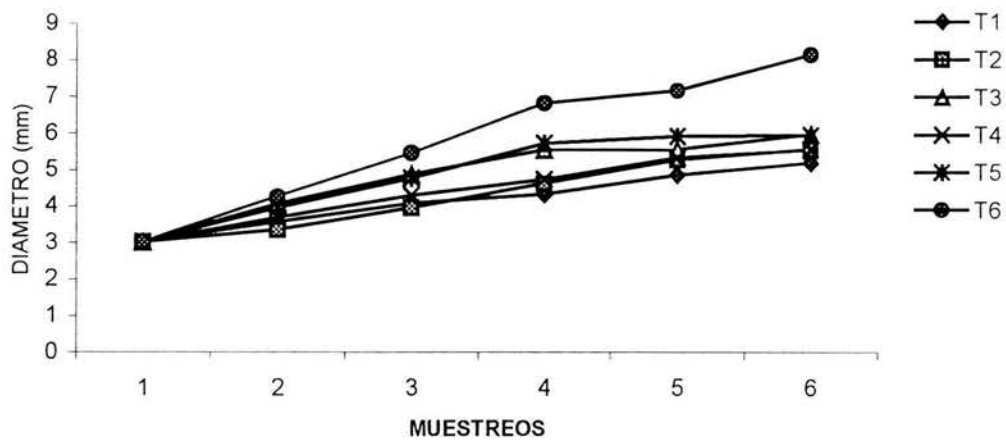
5.5. Diámetro del tallo

Los resultados obtenidos para esta variable se presentan en las figuras 5A y 5B. Se observa que el tratamiento T6 es quien obtuvo un mayor diámetro del tallo, que corresponde a la concentración de N y K de 290 y 90 kg ha⁻¹ respectivamente y la tensión de humedad de 900 cm de agua, mientras que los tratamientos T1 y T7 son los que presentaron un menor grosor del tallo.

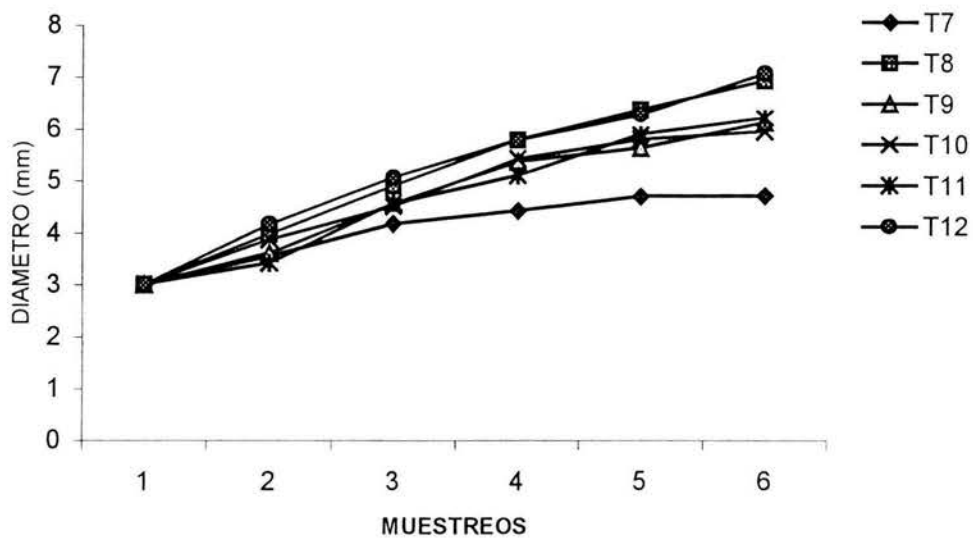
En lo que respecta a la comparación de medias (Cuadro 3), esta se hizo por medio de la prueba de Tukey al 0.05%.

La prueba reveló que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos T6 y T1, T7, T4, T2; comprobando que efectivamente el tratamiento T6 es el que alcanzó un mayor diámetro de tallo y el tratamiento T7 fue el que obtuvo el menor diámetro de todos los tratamientos. La diferencia que se presenta en el diámetro del tallo posiblemente se debe a que al existir poco nutrimento y fotosintatos en los tratamientos que presentaron un diámetro menor, estos fueron dirigidos hacia los frutos y hojas por lo que no se acumularon en el tallo principal como posiblemente paso con el tallo del tratamiento T6.

5A)



5B)



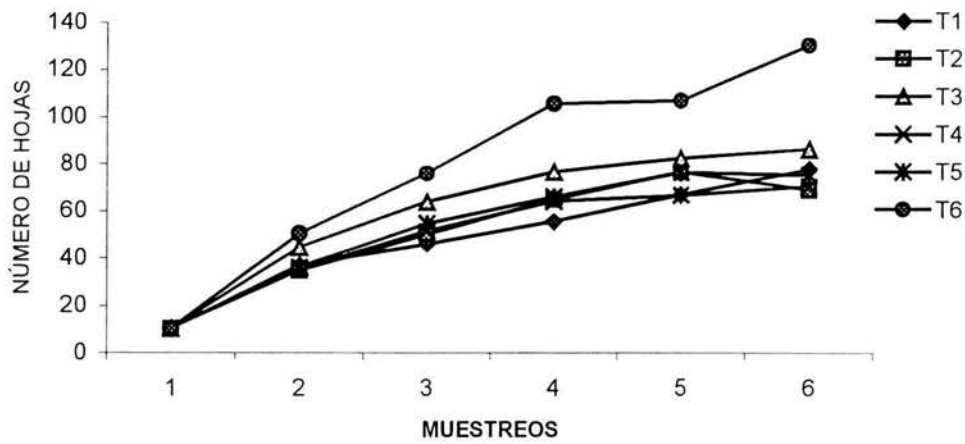
Figuras 5A y 5B. Diámetro de las plantas de chile jalapeño bajo condiciones de fertiriego. Los tratamientos son los siguientes: en tensión de humedad, nitrógeno y potasio respectivamente. T1, 300, 290, 10. T2, 900, 290, 10. T3, 300, 390, 10. T4, 900, 390, 10. T5, 300, 290, 90. T6, 900, 290, 90. T7, 300, 390, 90. T8, 900, 390, 90. T9, 600, 340, 50. T10, 1200, 340, 50. T11, 600, 440, 50. T12, 600, 340, 130.

5.6. Número de hojas

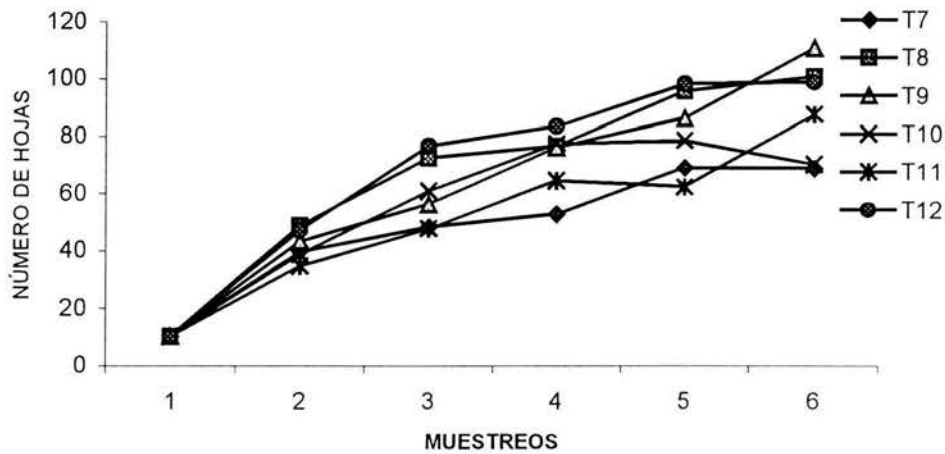
En las figuras 6A y 6B se puede observar los resultados para esta variable. El mayor número de hojas se obtuvo en el tratamiento T6. De acuerdo con Vega (1999) una mayor área foliar incrementa la maquinaria fotosintética que satisface la demanda de los fotosintatos ejercida por los órganos vegetativos y/o reproductivos en crecimiento. La prueba de comparación de medias (Cuadro 4A) indicó que efectivamente el tratamiento T6 obtuvo un mayor número de hojas (130) y los tratamientos T2 y T7 alcanzaron un menor número de éstas (68 cada uno), existiendo diferencias estadísticas entre los tratamientos antes citados.

El número de hojas se ve estrechamente relacionado con la floración debido a que en la floración existe la bifurcación, dando origen a dos hojas y con ella una yema floral en su axila formada por dicha bifurcación.

6A)



6B)

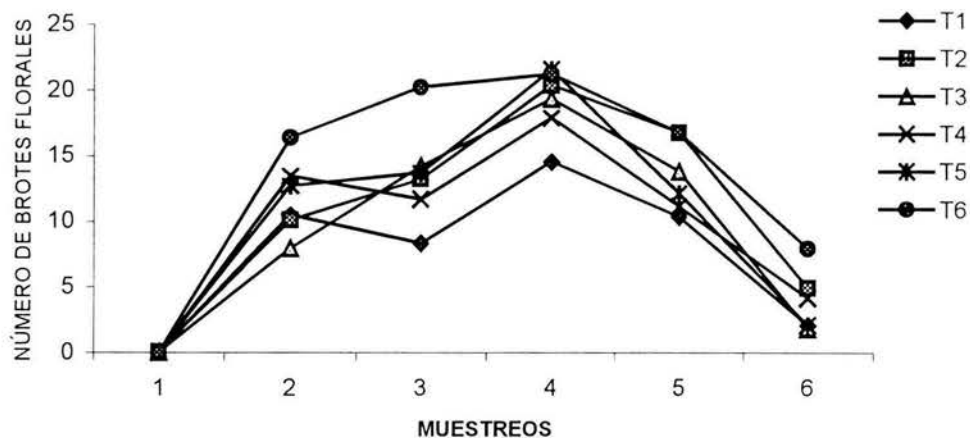


Figuras 6A y 6B Número de hojas en plantas de chile jalapeño bajo condiciones de fertirriego. Los tratamientos son los siguientes: en tensión de humedad, nitrógeno y potasio respectivamente. T1, 300, 290, 10. T2, 900, 290, 10. T3, 300, 390, 10. T4, 900, 390, 10. T5, 300, 290, 90. T6, 900, 290, 90. T7, 300, 390, 90. T8, 900, 390, 90. T9, 600, 340, 50. T10, 1200, 340, 50. T11, 600, 440, 50. T12, 600, 340, 130.

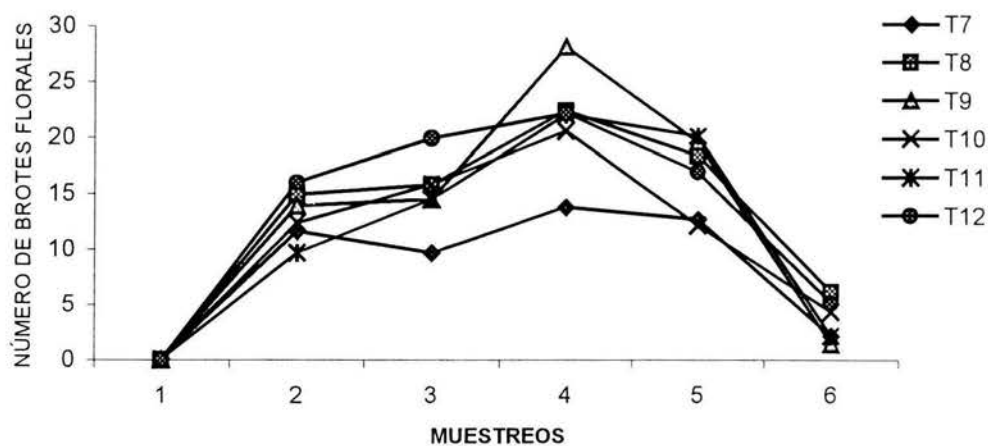
5.7. Número de Brotes Florales

En las figuras 7A y 7B se puede observar que la producción pico de brotes florales se presentó a los 80 DDT en todos los tratamientos. Así mismo, el número de flores se determinó hasta el inicio de la floración encontrando que más del 95% de las flores cuajaron dando origen al fruto. La prueba de Tukey para la comparación de medias indicó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los 12 tratamientos (Cuadro 4A).

7A)



7B)



Figuras 7A y 7B. Número de flores en plantas de chile jalapeño bajo condiciones de fertirriego. Los tratamientos son los siguientes: en tensión de humedad, nitrógeno y potasio respectivamente. T1, 300, 290, 10. T2, 900, 290, 10. T3, 300, 390, 10. T4, 900, 390, 10. T5, 300, 290, 90. T6, 900, 290, 90. T7, 300, 390, 90. T8, 900, 390, 90. T9, 600, 340, 50. T10, 1200, 340, 50. T11, 600, 440, 50. T12, 600, 340, 130.

5.8. Dinámica Nutrimental

Para la determinación del estado nutrimental del cultivo de chile jalapeño se realizaron análisis químicos en raíz, tallo y hojas.

5.8.1. Nitrógeno

El nitrógeno ocupa una posición excepcional como elemento esencial para el crecimiento de las plantas cultivadas. Las principales formas de nitrógeno que las plantas absorben son los iones nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). Así, los resultados obtenidos por el método de micro-kjeldahl se muestran en la Figura 7. De acuerdo a los niveles de nitrógeno que cita Arcos (1998), en un cuadro de niveles de macro y microelementos en follaje de pimiento (anexo 1A), nuestros resultados concuerdan con el porcentaje citado en esta tabla, obteniendo el 5% de nitrógeno, nivel que él considera adecuado.

Se aprecia que la demanda de nitrógeno en las raíces y hojas es mayor durante la etapa de crecimiento vegetativo. Rodríguez (1996), reporta que en el estado vegetativo las plantas tienen una mayor absorción de nutrientes, mientras que en la etapa de la floración se detiene relativamente la absorción debido a que la planta está gastando una gran cantidad de energía en dicho proceso de desarrollo.

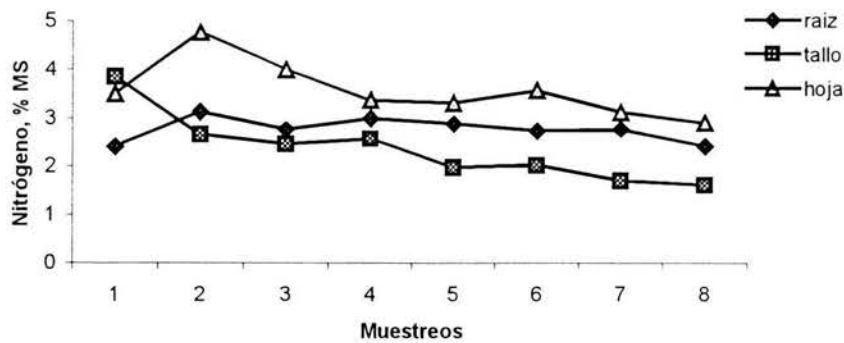


Figura 5.8.1. Concentración de nitrógeno en plantas de chile jalapeño bajo fertirriego.

En el análisis estadístico (Tukey, $p > 0.05$) no se encontró diferencias significativas para el nitrógeno entre los diferentes tratamientos.

5.8.2. Fósforo.

De acuerdo con Rodríguez (1996) existe un equilibrio entre el fósforo de la solución del suelo (que absorben las plantas) y el fósforo retenido en el complejo absorbente. La forma en que son absorbidos los fosfatos son: el monobásico PO_4H_2^- y el dibásico PO_4H^- , siendo el primero el más absorbido fisiológicamente por el vegetal. También hay una absorción muy pequeña de otras formas como el pirofosfato, metafosfato y otros compuestos orgánicos. La absorción de los fosfatos depende de la capacidad de solubilizar de las raíces, del tamaño de la raíz, y de la capacidad de absorción de la planta, el pH del suelo debe de ser de 5.5 a 7 para una buena absorción.

Arcos (1998) menciona que el nivel adecuado de fósforo en el follaje de pimiento se encuentra en el rango de 0.3 a 1.0%.

Los resultados de la concentración media de fósforo en los tratamientos se muestran en la figura 5.8.2. Se puede apreciar una disminución en la concentración de fósforo conforme avanza el desarrollo de la planta. Esto puede ser debido a que el pH del suelo (mayor de 7) limitó la absorción de este elemento. Lo que concuerda con lo dicho por Rodríguez en 1996.

Así también puede ser debido a la escasa o nula movilidad que tiene este elemento para transportarse hasta la planta. Por lo que se sabe, el acceso nutrimental de este elemento es por intercepción, y la fertilización que se aplicó carece de este nutrimento.

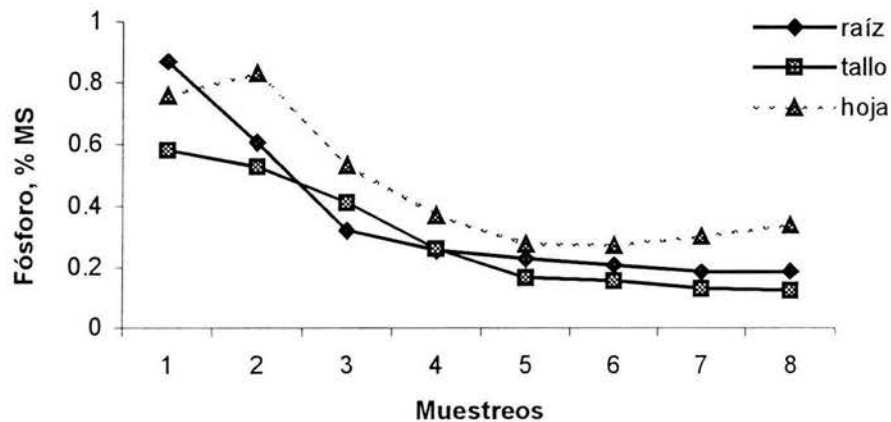


Figura 5.8.2. Concentración de Fósforo en plantas de chile jalapeño bajo fertirriego.

Al realizar el análisis estadístico para este nutrimento para las fechas de muestreo no se encontró diferencias significativas entre los diferentes tratamientos a excepción del segundo muestreo los resultados del cual se muestran en la siguiente tabla.

Cuadro 3. Absorción de Fósforo en las etapas fenológicas del chile jalapeño.

Muestreos	Tratamientos											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	ab	a	ab	a	ab	b	b	b	b	ab	b	b
	49763	89460	62415	71095	73186	3093	2439	3141	2671	11567	3179	3296

Las letras diferentes indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Tukey, $\alpha=0.05$).

5.8.3. Potasio

A diferencia de los demás elementos mayores, el potasio no forma parte ni de las proteínas, ni de los hidratos de carbono, ni de cualquier otro de los componentes principales de la planta. Es fácilmente absorbido por las raíces de las plantas en forma de ion potasio (K^+) y este es retenido principalmente en el jugo celular, interviniendo en la regulación de la presión osmótica y en el mantenimiento de la turgencia de la planta. El potasio también interviene en los procesos indispensables de la fotosíntesis y la respiración así como en el transporte de hidratos de carbono desde una parte a otra dentro de la misma planta.

Arcos (1998) señala que el nivel adecuado de potasio en el follaje de pimiento se encuentra en el intervalo de 4.0 a 6.0%.

Los resultados de la concentración media de potasio de los tratamientos en las diferentes estructuras de la planta de chile jalapeño se muestran en la figura 5.8.3. En donde la concentración de potasio se encuentra dentro del intervalo adecuado reportado por Arcos (1998), pero en las últimas etapas fenológicas los niveles se encuentran por debajo del óptimo, esto puede ser debido a que existe el factor de dilución, esto es que cuando se lleva a cabo la determinación no se considera la cantidad total de materia seca tomando solo una cantidad igual para todas las determinaciones.

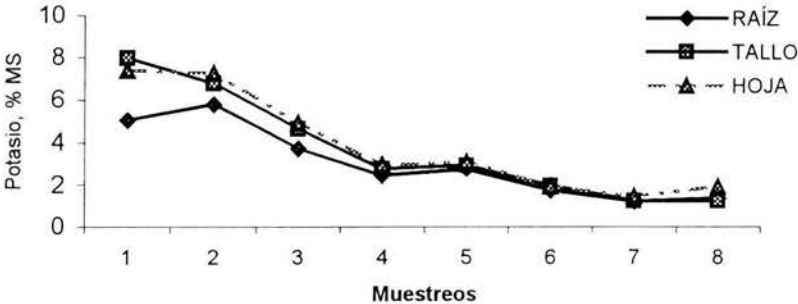


Figura 5.8.3. Concentración de Potasio en plantas de chile jalapeño bajo fertirriego.

Al realizar el análisis estadístico (Tukey, $p > 0.05$) se encontró diferencias significativas para el segundo, cuarto y quinto muestreos. En el segundo muestreo, los tratamientos T2 y T4 mostraron diferencias significativas contra el resto de los tratamientos. En el cuarto muestreo se observa diferencia significativa entre los tratamientos T2, T5 con T1. En el muestreo cinco se encontró diferencias significativas entre los tratamientos T5, T6, T7, T8, T10, T11, T12 contra T1. Los resultados se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Absorción de potasio en las etapas fenológicas del chile jalapeño.

Muestreos	Tratamientos											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
2	abc	a	abcd	a	ab	cd	cd	cd	d	bcd	d	d
	627408	834992	484323	787289	697163	29720	31799	31853	27972	128280	26934	27672
3	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
4	b	a	ab	ab	a	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab
	21488	36584	24739	29659	36223	28929	32770	31851	27762	29814	24947	26800
5	a	ab	ab	ab	b	b	b	b	ab	b	b	b
	29374	21992	19860	20153	17407	15673	17511	15311	19166	16887	15799	13803
6	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
7	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a

Letras diferentes en la misma fila indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. (Tukey, $\alpha > 0.05$)

5.9. Rendimiento.

Para el rendimiento de chile jalapeño los resultados obtenidos fueron transformados a kg ha^{-1} , y se muestran en la Figura 5.9. La prueba de Tukey para la comparación de medias reveló que no hubo diferencias significativas con una $P > 0.05$. El análisis estadístico por medio del diseño San Cristóbal, permitió generar la siguiente ecuación:

$$\text{RENDIMIENTO} = 313.07 + 1.039T$$

Donde: **T**= tensión de humedad.

Esta ecuación indica que solo la tensión de humedad tiene un efecto positivo en el rendimiento. La ecuación se puede maximizar de acuerdo a las restricciones que se tengan.

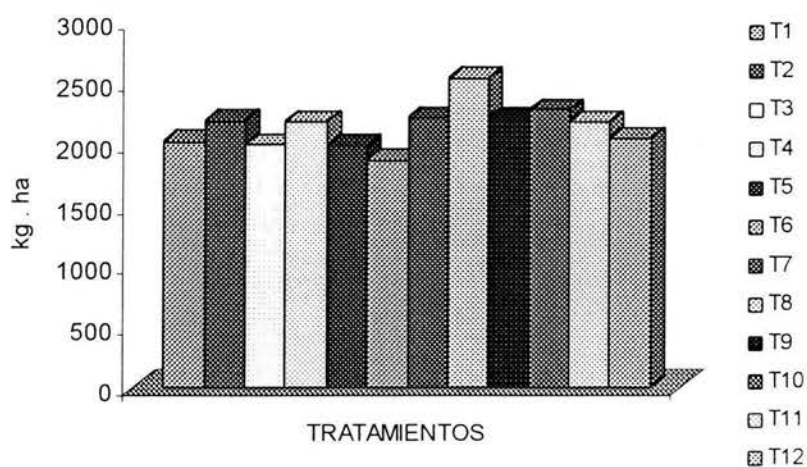


Figura 5.9. Rendimiento de chile jalapeño (kg ha^{-1}) bajo fertirriego y con diferentes dosis de fertilización.

VI. CONCLUSIONES

Sobre la base de los resultados expuestos anteriormente podemos concluir que:

- Los parámetros fisiotécnicos como el área foliar, el índice de área foliar y la materia seca son afectados por las diferentes dosis de fertilizantes y las tensiones de humedad. Siendo las más óptimas en éste estudio las dosis de 290 y 90 kg ha⁻¹ de nitrógeno y potasio respectivamente, a una tensión de humedad de 900 cm de columna de agua.
- Los parámetros morfológicos que se vieron afectados por el efecto de los tratamientos fueron el número de hojas y el diámetro de la planta
- El Nitrógeno y el potasio son absorbidos en grandes cantidades durante el crecimiento vegetativo. Sin embargo, la absorción de potasio es diferente entre los tratamientos y puede ser como respuesta de la planta a las diferentes tensiones a la que esta sometida, intentado con ello una mejor distribución de los nutrimentos en donde la planta lo requiera.
- No se encontró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para el rendimiento de fruto de chile jalapeño.
- Con lo anterior podemos decir que efectivamente la absorción de los nutrimentos dependen directamente de la humedad en el suelo y por lo tanto existe una tensión de humedad óptima para que la planta se desarrolle de manera más eficiente.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Adalsteinsson, S. and Jensen, P. 1988. Root development in winter wheat grown at different N/P interaction in phosphate uptake. *Physiología Plantarum.*, 72:271.
- Arcos, C. G., Hernández, H. J., Uriza, A. D. E., Pozo, C. O., Olivera, De Los S. A., 1998. Tecnología para producir chile jalapeño en la planicie costera del Golfo de México. SAGAR-INIFAP, CIRGOC, CIRNE. Folleto técnico Núm. 24. México.
- Ascencio, H. R., 1993. Determinación de los requerimientos hídricos, fertilización nitrogenada y densidad de población del chile jalapeño (*Capsicum Annuum L.*) para la zona centro del estado de Veracruz.
- Barber, S. A. 1988. Soil nutrient bioavailability a mechanistic aproach. *J. Plant Nutr.*, 10:1309.
- Contreras, G. J., 1982. Papaluapan y Jarocho dos nuevos cultivares de chile jalapeño. SARH, INIA, CIAGOC. Campo agrícola experimental Cotaxtla. Folleto técnico núm. 1. 12 p.
- Cultivos anuales de México VII Censo Agropecuario. Publicación 1991.
- Dagobiet, M. G. 1999. Nutrición de cultivos de chile (*Capsicum annum L.*) Dinámica nutrimental, fertigación nitrogenada y fertilización basal. Montecillos. Texcoco.
- Dominguez, V. A. 1996. Fertirrigación. Segunda edición. Mundi-prensa. México, S.A de C.V.
- El sector Alimentario en México INEGI Publicación Anual edición 2000
- Eshbaugh, W. H. 1968. A nomenclatural note of the genus capsicum. *Taxon.*
- Escalante, E. J. A. y J. Kohashi, S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos. Centro de Botanica, C.P. Montecillos, Méxic.
- Etchevers, B. J. D. 1997. Evaluación del estado nutrimental del suelo y los cultivos ferti-irrigados. IRENAT, Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. En, 2° simposio internacional de ferti-irrigación.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C. And Charles, A. J. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker. Inc. New York, USA.
- Fohse, D., Claassen, N., and Junk, A. 1988. Phosphorus efficiency of plants. *Plant Soil*, 110:101.

- García, C. R. 1983. Tipos y variedades de chiles en aguas calientes. Folleto Técnico, número 5 SARH, INIA, CIANOC, Campo Agrícola Experimental de Pabellón, Aguascalientes, México.
- Gutiérrez, H. R. 1987 Determinación de los requerimientos hídricos, fertilización nitrogenada y densidad de población de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) para la zona centro del Estado de Veracruz. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Huerres, P. C. y N. Caraballo, L. 1988. Horticultura. Editorial Pueblo y educación. Habana, Cuba.
- Kuhlmann, H and Barraclough, P. B. 1987. Relationship of potassium deficiency and abscisic acid metabolism in soyabean plants. Zeit. Pflanz. Boden., 150:24
- Le Bot, J., Pilbean, D. J., and Kirkby, E. A. 1994. Plant mineral nutrition in crop production. In: mechanisms of plants growth and improved productivity. Modern Approaches. Ed. By Amarjits S. Basra. Marcel Dekker. Inc. USA.
- Leonard, R. T. (1985). Potassium in agriculture. R. D Munson, ed.), Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI, p. 327.
- Long S. J. 1984. Huella histórica, situación actual y líneas de investigación. En. Presente y pasado del chile jalapeño en México. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Luttage, U. and Clarkson, D. T. 1989. influence of root temperature on the potassium requirements of plants. Prog. Bot., 50:51.
- Maroto B. J. V. 1989. Horticultura herbacea especial. 3ª edición, Madrid, España. Mundi-prensa.
- Marschner, H., Romheld, V., and Cakmak, I. 1987. Aspects of the phosphorus nutrition of white clover populations. J. Plant Nutr., 10:1175.
- Martinez, C. J. L., y Pacheco C. J. J. 1989. Cuadro básico de insecticidas para el control de plagas de la soya en el sur de Sonora. SARH. INIFAP.- CIRNO. Campo Experimental Valle del Yaqui. Cd. Obregón, Sonora, México. Desplegable para productores No 6. Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition of High Plants, Academic Press, London.
- Mengel, K. 1985. Potassium in agriculture (R. D. Munson, ed.), Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI, p. 397.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A. 1982. Principles of Plant Nutrition, 3er ed., International Potash Institute, Bern.

- Merril, S. D. and Rawlins, S. L., 1979. Distribution and growth of sorghum roots in response to irrigation frequency. *Agronomy journal*. 71 (5) USA. 738-745 p.
- Misra, R. K., Alston, A.M. and Dexter, A. R. 1988. The comparative phosphorus requirements of some temperate perennial legumes. *Plant Soil*, 107:11.
- Montag, J., 1997. Guidelines for preparation of dry soluble fertilizer blends & Fertilizer solutions. Haifa chemicals Ltd. Publication.
- Norma, S. C. 1980. Estudio fenológico y su relación con el rendimiento y calidad de chile "pasilla" cv. 'Apaseo' (*Capsicum annum* L. var. longum) bajo diferentes laminas de riego y su frecuencia de aplicación en la región de Celaya, Guanajuato. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Nuez, B. F., Gill O. R. Y Costa, G. J., 1996. El cultivo de pimientos chiles y ajíes. Grupo Mundi-Prensa, Madrid. España. 607 p.
- Obrador, O. J. 1994. Validación de parámetros del suelo, planta y clima requeridos por un modelo simplificado para determinar dosis de fertilización de N y P para maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Méx., México.
- Ohno, T. and Grunes, D. L. 1985. Phosphorus, potassium and calcium concentration limits in bean plants grown under deficiency after a period of sufficiency. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:685
- Pier, J. W. and T. A. Doerge., 1995. Nitrogen and water interactions in trickle-irrigated watermelon. *Soil Sci. Soc. Amer.* 59:149-150 pp.
- Pozo, C. O., 1997. Producción de semillas de chiles con cultivares e híbridos generados por el INIFAP. SAGAR, INIFAP, CIRNE. Campo experimental sur de Tamaulipas. 10 p.
- Rodríguez, S. J. 1987. Desarrollo de normas de fertilización para el cultivo de maíz y cebada en el estado de Tlaxcala. Centro de Edafología, colegio de Posgraduados, Montecillos, Méx., México (Mimeografiado)
- Rodríguez, S. J. 1990. La fertilización de los cultivos: un método racional. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Rodríguez, M. R., 1988 Evolución del sistema reproductivo de *Capsicum annum* L. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México.
- Rojas, M. B., 1981. El riego por surcos. SARH-INIA. México, D. F. Tema Didáctico núm. 12. 23 p.

- Salisbury, F. B., and Ross, C. W., 1994. Fisiología vegetal. González, V. (trad.). Grupo Editorial Iberoamericana, México.
- Storlie, C. A., Neary, P. E., and Paterson, J. W. 1995. Fertilizing Drip-irrigated Bell Peppers grown on loamy sand soil. Research Updates. New Jersey Agr. Ext. Sta. D-03150-04-95 USA.
- Suelter, C. H., 1985. Potassium in agriculture (R. D. Munson, ed.), Am. Soc. Agron. Inc., Madison, WI, p. 369
- Tijerina, Ch. L., 1994. El agua en el sistema suelo-planta-atmosfera II. Notas de clase del Colegio de Posgraduados, Montecillos, México.
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L. 1988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. UTHEA. México. D.F.
- Thompson, T. L., and Thomas A. Doerge., 1995a. Nitrogen and water rates for subsurface trickle irrigated romaine lettuce. HortScience 30: 1382-1387.
- 1995b. Nitrogen and water rates for subsurface trickle irrigated collard and spinach. Hortscience.
- 1996^a. Nitrogen and water interaction in subsurface trickle irrigated leaf lettuce i. Plant response. Soil sci. Am j. 60:163-168
- Valadez, L. A. 1998. Producción de hortalizas. Ed. UTHEA. México. 298p,
- Vega, M. R. 1999. Crecimiento y rendimiento de girasol *helianthus annus L* en función del nitrógeno, densidad de población y época de aclareo. Tesis de maestro en ciencias , montecillo texcoco
- Widders, E. and Lorenz, O. A. 1982. J. Am. Soc. Hort. Sci., 107:960
Win Jones, R. G. and Pollard, A. 1983. Inorganic Plant Nutrition. Encyclopedia of Plant Physiology, Vol. 15 (A. Lauchli and R. L. Bielecki, eds.), Springer-Verlag, New York, p.528.

VIII. ANEXOS

Cuadro 1A. Niveles de macro y microelementos en follaje de pimiento.

NUTRIENTE	ALTO		ADECUADO		BAJO	
	1	2	1	2	1	2
Nitrógeno (%)	5.1-6.0	+5.1	4-5	3.15-5.0	----	0-3.0
Fósforo (%)	0.7-0.8	+1.01	0.3-0.7	0.36-1.0	----	0-0.35
Potasio (%)	5.6-6.0	+6.01	4.5-5.5	4.01-6.0	----	0-4.0
Calcio (%)	4.1-5.0	+4.01	2.0-4.0	2.01-4.0	----	0-2.0
Magnesio (%)	1.8-2.5	+1.01	1.0-1.7	0.31-1.0	----	0-0.3
Azufre (%)	----	+0.71	----	0.31-0.7	----	0-0.3
Mn (ppm)	201-500	+101	90-200	31-100	----	0-30
Hierro (ppm)	201-500	+301	80-200	81-300	----	0-80
Cobre (ppm)	21.50	+31	10-20	9-30	----	0-8
Boro (ppm)	61-80	+81	20-60	26-80	----	0-25
Zinc (ppm)	61-100	+151	25-60	31-150	----	0-30

1 Fuente: Cadahía (1988, tomado de nuez *et al.*, 1996)

2 Fuente: IMC, (S/F).

Cuadro 2A. Características físicas y químicas del suelo en el sitio experimental.

Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	clasificación	Densidad Aparente (gr/cm ³)
0-20	70	12	18	Migajón arenoso	1.36
20-40	73	15	12	Migajón arenoso	1.42
40-60	72	15	13	Migajón arenoso	1.32

Análisis químico del suelo, perteneciente al sitio experimental.

Profundidad (cm)	pH	CE Mmhos•cm ⁻¹	N.T. (%)	NO ₃ (ppm)	P (ppm)	K (Meq•100g ⁻¹)
0-20	7.33	0.768	0.075	159.247	32.484	2.0338
20-40	7.5	0.268	0.070	139.341	34.650	1.8158

Análisis químico del agua de riego:

pH = 7.3

CE x 10⁶ = 921.2

Cuadro 3A. Cuadro base para el calculo del uso consuntivo del cultivo de chile jalapeño.

Fecha	Dias	EV (mm)	Kp	Kc	UC (cm)	UC acumulado
19-May-99	0	8.02	0.75	0.48	0.29	0.29
	5	40.04	0.75	0.49	1.47	1.76
	10	38.81	0.75	0.52	1.51	3.27
03-Jun-99	15	34.62	0.75	0.57	1.48	4.75
	20	27.16	0.75	0.65	1.32	6.08
	25	33.32	0.75	0.72	1.80	7.88
	30	36.88	0.75	0.77	2.13	10.01
	35	25.54	0.75	0.82	1.57	11.58
	40	29.72	0.75	0.90	2.01	13.58
03-Jul-99	45	16.87	0.75	0.93	1.18	14.76
	50	26.40	0.75	0.96	1.90	16.66
	55	22.73	0.75	1.03	1.76	18.42
	60	23.85	0.75	1.04	1.86	20.28
	65	23.32	0.75	1.05	1.84	22.11
	70	18.53	0.75	1.05	1.46	23.57
02-Ago-99	75	14.56	0.75	1.05	1.15	24.72
	80	20.96	0.75	1.05	1.65	26.37
	85	18.34	0.75	1.03	1.45	27.79
	90	23.69	0.75	1.02	1.81	29.6
	95	17.50	0.75	1.00	1.31	30.91
	100	19.25	0.75	0.98	1.41	32.33
01-Sep-99	105	17.65	0.75	0.93	1.23	33.56
	110	15.30	0.75	0.89	1.02	34.58
	115	17.29	0.75	0.85	1.10	35.68
	120	18.59	0.75	0.81	1.13	36.81
	125	12.55	0.75	0.75	0.71	37.52
	130	14.18	0.75	0.67	0.71	38.23
01/10/1999**	135	15.53	0.75	0.60	0.70	38.93

* Fecha de transplante; ** Finalizó el ciclo del cultivo

La columna 2, son días después del transplante.

Uso Consuntivo por el método del tanque evaporómetro.

$UC = Ev * Kp * Kc$

Donde:

UC; es el uso consuntivo del cultivo (cm)

Ev; es la evaporación diaria (mm)

Kp; es el factor del tanque (se obtiene de tablas específicas)

Kc es el coeficiente de desarrollo del cultivo (%)

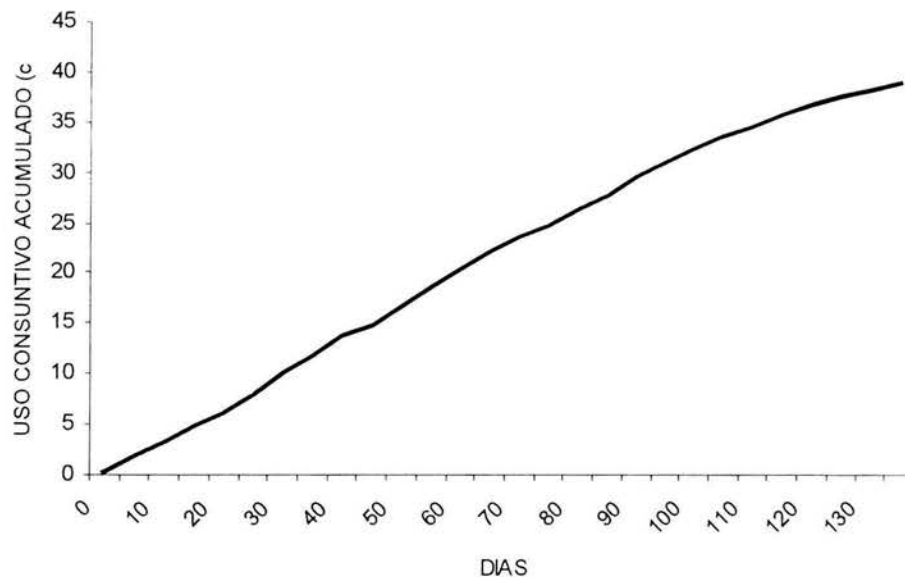


Figura 1. 3A. Curva de uso consuntivo acumulado (UC) del chile jalapeño en función del tiempo.

Cuadro 4A. Resultados del análisis estadístico sobre los diferentes parámetros fisiotécnicos.

Parámetros	Tratamientos												muestreo
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
AF ¹	b	ab	ab	ab	ab	a	ab	ab	ab	ab	ab	ab	7
	233.6	469.4	457.7	367.3	369.4	641.2	385.8	507.6	385.0	302.8	367.5	617.6	
MS ²	b	ab	ab	ab	ab	a	ab	ab	ab	ab	ab	ab	7
	3.437	8.473	7.170	6.230	5.523	10.257	5.113	8.880	7.580	4.477	5.450	9.590	
ALT ³	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	1 al 9
DT ⁴	b	b	ab	b	ab	a	b	a	ab	ab	ab	ab	4 al 6
	5.176	5.553	5.967	5.543	5.957	8.1467	4.710	6.933	6.120	5.943	6.200	7.070	
NH ⁵	ab	b	ab	ab	ab	a	b	ab	ab	ab	ab	ab	6
	77.67	68.67	86.33	70.33	75.00	130.00	68.67	100.7	110.3	70.33	87.67	98.67	
BF ⁶	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	3 al 6

Letras diferentes en la misma fila indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Tukey (DHS) $P < 0.05$

¹Área foliar (cm²)

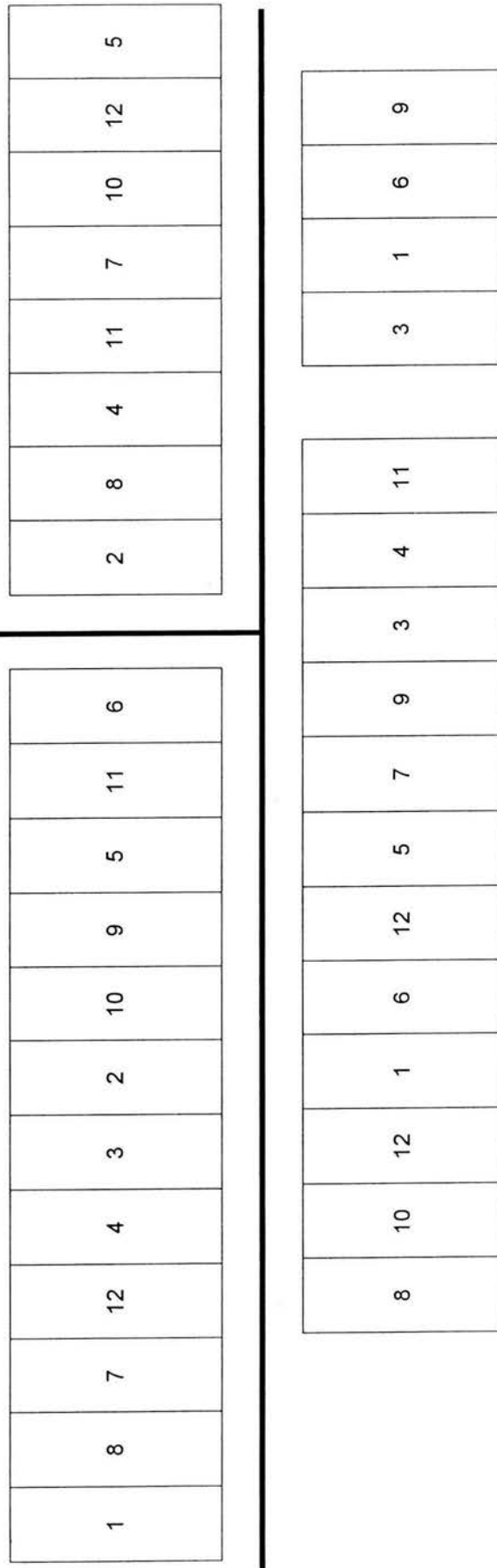
²Materia seca (g)

³Díámetro de tallo (mm)

⁴Número de hojas

⁵Brotes florales

Anexo Figura 2. PLANO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN CAMPO. EXPERIMENTO DE FERTIRRIEGO EN CHILE JALAPEÑO REALIZADO EN EL CAMPO EXPERIMENTAL DE LA ESPECIALIDAD DE HIDROCIENCIAS EN EL COLEGIO DE POSTGRADUADOS. MONTECILLO, TEXCOCO.



TRAT	T	N	K
1	300	290	10
2	900	290	10
3	300	390	10
4	900	390	10
5	300	290	90
6	900	290	90
7	300	390	90
8	900	390	90
9	600	340	50
10	1200	340	50
11	600	440	50
12	600	340	130