

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

Comparación de dos soluciones nutritivas con pH diferente en el



rendimiento y calidad del fruto en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación Realizado por:

MOISÉS MARTÍNEZ SANTIAGO

TÉSIS

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
Ingeniero Agrónomo en Irrigación**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Febrero de 2005

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

**Comparación de dos soluciones nutritivas con pH diferente en el
rendimiento y calidad del fruto en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.)
var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación.**

TÉSIS
Realizado por:

MOISÉS MARTÍNEZ SANTIAGO

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como Requisito
Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobado por:
Asesor principal

MC. Gregorio Briones Sánchez

Asesor

Asesor

MC. Boanerges Cedeño Rubalcava

Ing. Tomás Reyna Cepeda

Asesor

MC. Antonio Rodríguez Rodríguez

Coordinador de la División de Ingeniería

MC. Luis E. Ramírez Ramos

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Febrero de 2005
DEDICATORIA

A mis padres:

Ángel Martínez Martínez
María Elena Santiago Hernández

Con profundo cariño, amor y respeto a ustedes. Les quiero dar las gracias por darme la vida, y sobre todo por enseñarme a luchar siempre con responsabilidad. Gracias por darnos una educación digna y por la fortuna de tenerlos a mi lado.

A Mis Hermanos:

Servando

Teodora

Elvira

Librado

Ángel

Eudosia

A quienes les deseo lo mejor en la vida

Patricia Ortiz

Muchas gracias por todo, este logro también es para ti sin tu ayuda este trabajo no hubiera sido posible.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS Por darme la vida y por estar siempre conmigo bendiciendo e iluminando mi camino. Gracias señor por no dejarme solo en los momentos más difíciles de mi vida y por darme la oportunidad de vivir en armonía y paz.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” y el Departamento de Riego y Drenaje, a sus maestros y el personal que labora, que de alguna manera aportaron un valioso tiempo de enseñanzas y herramientas para mi formación como profesionista.

A la Familia Rojas y la Dra. María Ernestina Chac Góngora, gracias por el apoyo que siempre me brindaron.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo de investigación, en especial al Departamento de Agropásticos.

Al Ing. José Luis López Niño y al Ing. José Antonio Martínez Lara, por darme la oportunidad de trabajar con ustedes y por la amistad que siempre me han brindado.

MC. Boanerges Cedeño Rubalcava, por la amistad, confianza, sugerencias y la disponibilidad brindada para la revisión del presenta trabajo de tesis.

MC. Gregorio Briones y al Ing. Tomas Reyna Cepeda por su participación en la revisión del trabajo de tesis.

MC. Antonio Rodríguez Rodríguez, por su valiosa aportación en la revisión de este trabajo.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización de la investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Generalidades del cultivo.....	4
2.1.1 Origen e historia.....	4
2.1.2 Clasificación taxonómica.....	5
2.2 Importancia económica del cultivo.....	5
2.2.1 Mundial.....	5
2.2.2 Principales productores.....	6
2.2.3 Rendimientos mundiales.....	7

2.2.4 Comercio mundial.....	8
2.2.4.1 Importaciones.....	8
2.2.4.2 Exportaciones.....	8
2.2.4.3 Valor de la producción.....	9
2.2.5 Nacional.....	10
2.3 Fisiología del crecimiento y la fructificación.....	11
2.4 Exigencias climáticos y ambientales	12
2.4.1 Temperatura.....	12
2.4.2 Humedad relativa.....	13
2.4.3 Luminosidad.....	14
2.4.4 Requerimientos de suelo.....	14
2.4.5 Riegos.....	14
2.4.6 Fertilización.....	15
2.5 Índices de cosecha	16
2.6 Vida de anaquel.....	16
2.7 ACOLCHADO DEL SUELO.....	17
2.7.2 Ventajas.....	18
2.7.3 Desventajas.....	19
2.7.4 Características de los plásticos empleados para acolchados	20
2.7.5 Superficie con acolchados en el mundo.....	21
2.8 GENERALIDADES DEL RIEGO POR GOTEO.....	22
2.8.1 Antecedentes.....	22

2.8.2 Definiciones.....	22
2.8.3 Características	24
2.8.4 Ventajas	25
2.8.5 Desventajas.....	26
2.9 FERTIRRIGACIÓN.....	27
2.9.1 Generalidades.....	27
2.9.2 Ventajas.....	28
2.9.3 Desventajas.....	29
2.9.4 Los fertilizantes y su uso en fertirrigación	29
2.9.4.1 Características de los fertilizantes en fertirrigación.....	29
2.9.4.1.1 Solubilidad.....	29
2.9.4.1.2 Conductividad eléctrica.....	30
2.9.4.1.3 pH.....	32
2.9.4.1.4 Temperatura.....	32
2.9.4.1.5 Compatibilidad de las mezclas.....	33
2.9.5 Equipos de fertirrigación.....	34
2.10 NUTRICIÓN MINERAL	35
2.10.1 Constituyentes.....	35
2.10.2 Elementos minerales y esenciales.....	36
2.10.3 El ácido sulfúrico y la disponibilidad del fósforo.....	37
III. MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1 Localización del sitio experimental	41
3.2 Clima.....	41
3.3 Suelo.....	42
3.4 Diseño experimental.....	42
3.5 Establecimiento del experimento.....	43
3.5.1 Siembra del almácigo.....	43
3.5.2 Material vegetativo.....	44
3.5.3 Preparación del terreno.....	44
3.5.4 Acolchado de suelo.....	45
3.5.5 Trazo del experimento.....	45
3.5.6 Sistema de riego.....	46
3.5.7 Transplante.....	46
3.5.8 Tutorado.....	46
3.5.9 Riego	47
3.5.10 Fertilización.....	47
3.5.11 Labores culturales.....	49
3.5.12 Control de plagas y enfermedades.....	50
3.6 Variables de evaluadas.....	50
3.6.1 Variables de crecimiento y desarrollo (C y D).....	50
3.6.1.1 Área foliar (AF).....	51
3.6.1.2 Altura de planta (AP).....	51
3.6.1.3 Diámetro de tallo (DT).....	51
3.6.1.4 Materia seca (MS).....	51
3.6.2 Variables de rendimiento.....	52
3.6.2.1 Número de frutos por planta (NFPP).....	52
3.6.2.2 Rezaga (Re).....	52

3.6.2.3 Peso del fruto (PF).....	52
3.6.2.4 Rendimiento por tratamiento (RpT).....	52
3.6.2.5 Rendimiento acumulado (RA).....	53
3.6.3 Variables fisiológicas.....	53
3.6.3.1 Fotosíntesis (F).....	53
3.6.3.2 Resistencia estomática (Res).....	53
IV RESULTADOS Y DISCUSION.....	54
4.1 Variables de crecimiento y desarrollo (C y D).....	54
4.1.1 Área foliar (AF).....	54
4.1.2 Altura de planta (AP).....	55
4.1.3 Diámetro del tallo (DT).....	55
4.1.4 Materia seca (MS).....	56
4.2 Variables de rendimiento.....	58
4.2.1 Números de frutos por tratamiento (NFT).....	58
4.2.2 Rezaga (Re).....	59
4.2.3 Peso del fruto (PF).....	60
4.2.4 Rendimiento por tratamiento (RpT).....	61
4.2.5 Rendimiento acumulado (RA).....	63
4.3 Variables fisiológicas.....	65
4.3.1 Fotosíntesis (F).....	65
4.3.2 Resistencia estomática (Res)	65
V. CONCLUSIONES.....	67
VI. RESUMEN.....	69
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
2.1 Superficie cosechada de chile verde (miles de hectáreas), período 1997-2001.....	6
2.2 Los diez principales países productores de chile verde (miles en toneladas), período 1996-2001.....	6
2.3 Rendimiento mundial de chile verde ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$), período 1997-2001.....	7
2.4 Importaciones mundiales de chile verde (miles de toneladas), período 1997-2000.....	8
2.5 Exportaciones mundiales de chile verde (miles de toneladas), período 1997-2000.....	9
2.6 Valor de las exportaciones mundiales de chiles verdes, período 1997-2000.....	10
2.7 Factores ambientales a considerar en el establecimiento y desarrollo del cultivo del pimiento morrón.....	12
2.8 Temperaturas críticas para el desarrollo de pimiento morrón en las distintas fases de desarrollo.....	13
2.9 Características de los plásticos empleados para acolchados.....	20
2.10 Superficie con acolchados en el mundo.....	21
2.11 Solubilidad de algunos fertilizantes a 20 °C.....	30
2.12 Conductividad eléctrica de algunos fertilizantes comerciales en una disolución con 0.5 g/l de agua pura.....	31
2.13 Porciento de fosfato monoamónico cristalino insoluble por variación de la temperatura y concentración en la solución.	31
2.14 Porciento de nitrato de potasio insoluble por variación en la temperatura y la concentración en la solución.....	31
2.15 Reacción de los fertilizantes en la solución nutritiva.....	32

2.16	Reacción térmica de los fertilizantes.....	33
2.17	Compatibilidad de los fertilizantes.....	33
3.1	Fórmulas de fertilización evaluadas.....	42
3.2	Principales plagas y enfermedades en pimiento morrón var. Júpiter y su control.....	50
4.1	Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de área foliar en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	54
4.2	Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de altura de planta en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas	55
4.3	Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de diámetro del tallo en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	56
4.4	Valores obtenidos de la prueba de medias en las mediciones peso seco flor y fruto en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	56
4.5	Valores obtenidos de la prueba de medias en las mediciones de peso seco hoja y tallo en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas..	57
4.6	Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de peso seco total en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	58
4.7	Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de número de frutos por tratamiento en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas..	59
4.8	Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de rezaga	

	en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	60
4.9	Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de peso del fruto en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	61
4.10	Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de rendimiento por tratamiento en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	62
4.11	Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de rendimiento acumulado en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	64
4.12	Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de fotosíntesis en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	65
4.13	Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de resistencia estomática en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

Página

3.1	Disposición espacial de los cuatro tratamientos.....	43
3.2	Tutorado en chile pimiento morrón.....	47
3.3	Equipo de fertirrigación automatizado FERTIGAL.....	48
4.1	Rendimiento por tratamiento en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	62
4.2	Rendimiento acumulado en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.....	64

RESUMEN

En las regiones áridas y semiáridas de México, la mayoría de los suelos tienen un pH de 7-8 (medianamente alcalino). El cultivo de pimiento morrón se desarrolla adecuadamente en un suelo con un pH entre 5.5 y 7.0. Al aplicar soluciones nutritivas acidificadas en el agua de riego, se estima que el pH sea el requerido con lo cual se optimice la absorción de los nutrientes y por lo tanto se logre obtener un buen rendimiento de fruto y con alta calidad.

El presente trabajo se realizó durante el ciclo primavera-verano del 2004. En el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), ubicado en el noroeste de la ciudad de Saltillo Coahuila. El objetivo de la investigación fué estudiar el uso de soluciones nutritivas acidificadas aplicadas en el agua de riego, utilizando un equipo de fertirrigación automatizado (FERTIGAL). Se utilizaron dos fórmulas de fertilización N-P-K y un nivel de H_2SO_4 ($160 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$). En cada una de las fórmulas a una no se le agregó H_2SO_4 y a la otra si se le agregó.

Con ello el experimento constó de cuatro tratamientos: T1= 300–150–450 sin ácido (testigo), T2= 300–150–450 + ácido, T3= 150–75–225 sin ácido, T4= 150–75–225 + ácido. Los tratamientos con ácido recibían una inyección de tanque $10 \text{ l}\cdot\text{m}^{-3}$. El tanque que contenía una concentración de 10 litros de H_2SO_4 en 600 litros de agua con una concentración $160 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$.

En este estudio se utilizó un diseño experimental de bloques al azar y el cultivo fué pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) var. Júpiter, el cual es un pimiento de polinización abierta, de amplia adaptación tipo “Bell”. La plantación se hizo por transplante 111 días después de la fase de almácigo. Las plantas se establecieron a doble hilera a tresbolillo depositando una planta por mata a cada 30 cms, correspondiente al espaciamiento comercial estándar entre goteros de la cinta de riego, el espaciamiento entre surcos fue 1.8 entre camas de donde resultó $36,666.67 \text{ plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$.

En cada uno de los tratamientos se evaluaron las siguientes variables de crecimiento y desarrollo: área foliar, altura de planta, diámetro del tallo, peso de materia seca (peso del fruto, tallo, flor, hojas y peso total). Se realizaron cuatro evaluaciones en las siguientes fechas: 62, 84, 107, 127 días después del transplante (ddt).

Para las variables: número de frutos/planta, rezaga, peso del fruto, se realizaron cuatro muestreos en las fechas 82,104,126,148 ddt. Para las variables: rendimiento por tratamiento y rendimiento acumulado se evaluaron en nueve fechas: 58, 71, 82, 92, 104, 113, 126, 138 148 ddt.

Para la evaluación de las variables fisiológicas: fotosíntesis y resistencia estomática, se realizaron las mediciones en dos fechas: 111 y 141 ddt. Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis estadístico experimental de bloques al azar (FAUANL) y la prueba de medias se hizo con Tukey a una $p < 0.01$.

El análisis de varianza y prueba de medias no mostró diferencias significativas en las variables de crecimiento y desarrollo, peso de materia seca y variables fisiológicas. En la variable de rendimiento en número de frutos, peso del fruto, rezaga y rendimiento acumulado, mostró diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento 4 (150-75-225 + ácido) fue el mejor con un rendimiento acumulado de $43.6 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, seguido del tratamiento 3 (150-75-225 sin ácido) con rendimiento acumulado de $40.1 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, el tratamiento 2 (300-150-450 + ácido) registró un rendimiento acumulado de $38.7 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, mientras que el tratamiento 1 (300-150-450 sin ácido) registró el menor rendimiento con un peso total de $33.4 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$.

INTRODUCCIÓN

De las 49 especies hortícolas que se producen a nivel comercial en México, el 57% se concentra en los estados de Sinaloa, Guanajuato, Sonora, Querétaro, Estado de México, Baja California, Jalisco y Morelos. En México, se siembran alrededor de 512,000 hectáreas de hortalizas, lo que equivale a un 3.5% de la superficie agrícola nacional y se obtiene una producción de 8

millones de toneladas, o sea el 9.4% de la producción del sector. De los doce productos hortícolas principales, en tomate, papa, chile, cebolla y melón, se produjeron 1.41, 1.21, 0.87, 0.67 y 0.49 millones de toneladas, respectivamente. Estos productos por sí solos representaron más del 60% de la producción total hortícola. Analizando las tendencias entre el periodo 1989-1995 de la superficie cultivada de hortalizas en el país, es posible observar que los tres primeros lugares corresponden al cultivo del tomate representando el 13% de la superficie nacional dedicada a hortalizas, y los chiles verdes y la papa con el 15%, y el 11%, respectivamente (Siller, 2003).

El chile en forma genérica, es una hortaliza que se produce en casi todo el país en los dos ciclos agrícolas y forma parte del grupo de los principales productos hortofrutícolas de exportación. El 80% de la producción nacional se consume internamente, lo que determina su importancia como alimento, ya que, además de que posee minerales y vitaminas es un condimento que está presente en la mayoría de los platillos mexicanos. Actualmente, nuestro país es el que produce la mayor cantidad de variedades de chile en el mundo. Los tipos de chiles más importantes a nivel nacional son los anchos (poblano, mulato y miahuateco), jalapeño (típico, candelaria o peludo y

espinalteco), serrano y mirasol (conocido en seco como guajillo o cascabel). La producción de estos tipos de chiles representa del 70-80% de la producción nacional. La producción de tipos dulces se destina principalmente al mercado de exportación, predominando el morrón y en menor grado el anaheim, caribe, fresno y cherry (Claridades, 1998).

El pimiento morrón es un cultivo universal, destacando el continente Asiático con una mayor extensión de terreno cultivado, donde se encuentra más de la mitad de la superficie destinada a este cultivo, en donde destacan países como Indonesia, China, Corea, Pakistan y Turquía. El segundo continente en importancia en cuanto a superficie cultivada es África, seguida por Europa. En África destacan principalmente Nigeria, Ghana, Argelia, Túnez y Egipto. En Europa: ex-Yugoslavia, España, Italia, Rumanía, Hungría y Bulgaria. En el continente americano los países con una mayor superficie de este cultivo son México y USA (Nuez *et al*, 1996).

Por otra parte, bajo un sistema de fertirrigación y agroplasticultura bien diseñado y manejado conlleva ventajas inmediatas como el uso eficiente del agua, de los fertilizantes, la producción precoz y aumento en el rendimiento; principalmente en las regiones donde el recurso agua es escaso. Todas las ventajas mencionadas deben balancear favorablemente a corto y largo plazo el mayor costo de inversión inicial que implica la utilización de estos sistemas. El riego por goteo conjuntamente con el acolchado proporcionan grandes beneficios, considerándose a estos sistemas de tipo ecológicos y económicos, ya que se fertiliza al cultivo a través del sistema de riego por goteo, según sean los requerimientos del mismo (García *et al*, 1999; citados por Potisek *et al*, 2003)

El pimiento morrón prefiere terrenos profundos, ricos en materia orgánica; suelos, bien aireados y permeables, donde no exista la posibilidad de estancamiento de agua. No es especialmente sensible a la acidez del suelo, adaptándose bien a un rango de pH's entre 5.5 y 7.0 (Vilmorín, 1977).

En base a lo anterior se pretende evaluar dos niveles de fertilización (NPK), utilizando ácido sulfúrico para acidificar el agua, y que el nivel de pH tenga un nivel óptimo entre 5.5 a 6.5 en la solución del suelo, para facilitar la asimilación de los nutrientes principalmente (macroelementos) en el desarrollo, rendimiento y calidad del pimiento morrón.

Se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis

Objetivos

- Determinar el efecto sobre el rendimiento y la calidad en pimiento morrón. Al disminuir hasta en un 50% de la solución nutritiva utilizada por algunos productores de la región Noroeste de Coahuila.
- Evaluar la influencia de la aplicación de ácido a la solución nutritiva en el rendimiento de pimiento morrón.

Hipótesis

- Al disminuir el pH en una solución nutritiva se permite aumentar la calidad y el rendimiento en chile pimiento morrón.

- Al aumentar la dosis de fertilización sin modificar el pH no se incrementa el rendimiento y la calidad del chile pimiento morrón.

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del cultivo

El pimiento es de la familia de las solanáceas, es una planta perenne, pero se cultiva como si fuera anual, el sistema radicular de la planta, raramente esta formado por raíces adventicias, la mayor parte de las raíces llega a profundidades de 70 a 120 cm; lateralmente se extienden hasta 120 cm de diámetro alrededor de la planta, presenta tallos erectos, herbáceos, ramificados, semileñosos, son cilíndricos o prismático angular, creciendo desde 20 a 120 cm, siendo de color verde oscuro, con hojas oblongas lanceoladas y flores blancas solitarias localizadas en la inserción de las hojas, presentan 6 sépalos, 6 pétalos y 6 estambres. El número de los órganos florales oscila de 5 a 7. El ovario es súpero, frecuentemente bi ó trilocular y el estigma usualmente se encuentra al nivel de las anteras, lo cual facilita la autopolinización. El pimiento es una planta autógama, forman frutos de formas variadas, de pared poco carnosa y que tienen semillas blancas y de forma aplanada (Valadez, 1990).

2.1.1 Origen e historia

El pimiento (*Capsicum annuum* L.), es una especie de la familia de las solanáceas, originaria de sudamérica, específicamente en el área de Perú-Bolivia, desde donde se extendió a América Central y Meridional. En 1493, fue introducida en Europa, de donde se extendió a Asia y África en donde actualmente se producen volúmenes considerables. La planta de pimiento es herbácea, en condiciones tropicales es perenne y anual en otros ambientes y

latitudes y tras una poda puede cultivarse como bianual. En condiciones comerciales se cultiva de forma anual (Muñoz y Castellanos, 2003).

2.1.2 Clasificación taxonómica

La clasificación botánica del pimiento morrón (Janick, 1965) es la siguiente:

Reino: Vegetal

División : Tracheophyta

Subdivisión : Pteropsida

Clase : Angiosperma

Subclase :Dicotyledoneae

Orden : Solanaceales

Familia : Solanáceas

Genero : Capsicum

Especie : annum

2.2 Importancia económica del cultivo

2.2.1 Mundial

China, Indonesia y México concentran el 51% de la superficie mundial cosechada de chiles verdes (Cuadro 2.1) la cual se ha tenido pequeñas variaciones alrededor de 1.4 millones de hectáreas en el período de 1997 a 2001. En ese mismo período los rendimientos mundiales por hectárea han oscilado con altibajos, alcanzando tan solo un incremento de 0.8% anual ubicándose en 13 ton·ha⁻¹ en el año 2000. Por lo anterior se deduce que los aumentos en la producción mundial, se deben a la incorporación de superficie al cultivo, la cual varió de 1.3 millones de hectáreas en 1997 a 1.5 millones de hectáreas en el 2001, es decir, 9.5% más superficie (Lamas, 2003).

Cuadro 2.1. Superficie cosechada de chile verde (miles de hectáreas), período 1997-2001.

País	Año agrícola					% año 2001
	1997	1998	1999	2000	2001	
China	383.2	403.0	428.7	438.2	443.4	30.3 %
Indonesia	161.6	164.9	151.5	151.5	151.5	10.5 %
México	99.7	156.0	163.5	145.0	150.1	10.5 %
Nigeria	85.0	89.0	90.0	90.0	90.0	6.2 %
Corea	82.1	70.1	90.7	80.1	80.0	5.5 %
Otros	508.1	535.0	538.6	540.9	545.2	37.0 %
Mundial	1,319.7	1,418.0	1,463.0	1,445.7	1,460.2	100.0 %

Fuente: FAOSTAT, 2002; Lamas, 2003.

2.2.2 Principales productores

Entre los años 1996 y 2001 (Cuadro 2.2), la producción mundial de chiles registró un incremento constante de 3.3% anual, lo que ubicó a la producción del 2001 en 19.2 millones de toneladas. Este crecimiento es ligeramente superior a la tasa de incremento de la población que fue casi de 2%. China, México, Turquía, España, Estados Unidos de América y Nigeria en conjunto aportan cerca del 73% de la producción mundial. China, el principal productor mundial de chiles, concentra sus cosechas para el consumo interno de su población, pero recientemente ha participado en forma incipiente en el comercio internacional, lo cual es considerado como una amenaza al estatus de la red internacional (Lamas, 2003).

Cuadro 2.2. Los diez principales países productores de chile verde (miles en toneladas), período 1996-2001.

	Año agrícola					
País	1996	1997	1998	1999	2000	2001
China	6525.4	7033.1	7283.1	7521.2	8136.5	8238.0
México	982.5	1145.7	1849.6	1797.2	1733.7	1800.0
Turquía	1150.0	1130.0	1390.0	1400.0	1400.0	1400.0
España	867.7	893.3	890.1	939.0	939.0	942.7
E.U.A	754.8	678.6	660.2	885.6	885.6	885.6
Nigeria	633.0	745.0	709.0	715.0	715.0	715.0
Indonesia	453.0	348.0	374.1	510.0	510.0	550.0

Italia	346.5	357.2	359.8	346.3	346.3	346.3
Corea	332.4	322.3	288.1	391.3	391.3	400.0
Egipto	322.5	362.7	410.8	428.1	428.1	448.3
Mundial	15,626.3	16,643.4	17,773.2	18,847.9	18,847.9	19,179.7

Fuente: Lamas, 2003 con datos de FAOSTAT.

2.2.3 Rendimientos mundiales

En el mundo, los países con los rendimientos más altos, respecto al genérico “chiles verdes¹” (Cuadro 2.3), son aquellos que emplean tecnologías de alta precisión para la aplicación de riegos y fertilizantes. Entre ellos se encuentran países del cercano oriente como son: Kuwait, Israel, Bahreim, junto a Japón y España cuyos rendimientos promedio están por arriba de las 40 ton·ha⁻¹. Considerando a los países participantes del TLCAN, los Estados Unidos de América tiene el rendimiento promedio superior con 30 ton·ha⁻¹, seguido por Canadá con 17 ton·ha⁻¹ y después por México con apenas 12 ton·ha⁻¹, el cual esta abajo del promedio mundial que es de 13 ton·ha⁻¹. Mención aparte merecen los rendimientos reportados para Holanda y el Reino Unido cuya producción se concentra en invernaderos altamente tecnificados y el tipo predominante de chile cultivado es el Bell Pepper, para cosechas de invierno. Holanda tiene registrado un rendimiento promedio de 250 ton·ha⁻¹ mientras el Reino Unido alcanza las 106 ton·ha⁻¹ (Lamas, 2003).

Cuadro 2.3. Rendimiento mundial de chile verde (ton·ha⁻¹), período 1997-2001.

País	Año agrícola					Promedio
	1997	1998	1999	2000	2001	
Kuwait	58.8	51.9	47.1	49.6	49.6	51.6
Israel	44.3	47.5	45.5	45.4	45.0	45.6
Bahreim	43.3	45.3	44.0	43.6	43.6	44.0
Japón	39.8	38.0	38.4	39.7	39.7	39.1
España	39.1	39.8	40.9	44.5	44.5	40.3

¹ La base estadística de FAO, no permite diferenciar entre variedades de chiles ni los sistemas de producción empleados que bien pudieran ser en invernaderos, campo abierto. Por lo tanto las razones que aquí se establecen sobre los rendimientos son percepciones del autor.

	Países TLCAN					
EUA	29.8	28.8	30.7	31.0	31.0	30.3
Canadá	19.4	18.6	18.0	15.1	15.1	17.2
México	14.5	11.9	11.0	12.1	12.0	12.3
Holanda *	251.2	250.0	250.0	250.0	250.0	250.2
Reino Unido *	172.5	71.0	100.0	93.0	95.0	106.3
Mundial **	12.6	12.5	12.4	13.1	13.1	12.7

*: Producción en invernadero

**: Media ponderada

Fuente: FAO. Lamas, 2003.

2.2.4 Comercio mundial

2.2.4.1 Importaciones

Los Estados Unidos de América son líderes importadores de chiles y sus compras muestran un crecimiento modesto pero sostenido, alcanzando en el año 2000 las 347,000 toneladas con un valor de \$513.7 millones de dólares. Alemania es el segundo país importador, aunque mostró un crecimiento casi nulo de sus importaciones en el período 1997-2000. En este mismo renglón, sobresalen las tasas de crecimiento del Reino Unido y Austria siendo estas de 10.5 y 18.3%, respectivamente (Cuadro 2.4) (Lamas, 2003).

Cuadro 2.4. Importaciones mundiales de chile verde (miles de toneladas), período 1997-2000.

País	Año agrícola				T.M.C.A.*
	1997	1998	1999	2000	
EUA	290.6	329.3	342.1	346.7	6.1%
Alemania	243.2	255.0	239.0	254.3	1.5%
Francia	87.0	98.3	102.9	99.4	4.5%
Reino Unido	65.3	76.1	85.2	88.1	10.5%
Canadá	74.3	71.7	78.1	85.7	4.9%
Italia	38.2	43.3	53.4	47.4	7.5%
Austria	24.9	31.9	38.7	41.3	18.4%
Rep. Checa	28.0	35.7	36.1	36.1	8.8%
Holanda	39.2	44.9	44.1	29.9	-8.9%
Suecia	20.9	19.4	22.5	22.7	2.8%
Resto	188.5	192.2	205.1	209.4	3.6%

Total	1100.2	1197.8	1247.1	1260.6	4.6%
-------	--------	--------	--------	--------	------

* T.M.C.A: Tasa medio de crecimiento anual.

Fuente: Lamas, 2003 con datos de FAO.

2.2.4.2 Exportaciones

España, México y Holanda encabezan a los países exportadores de chiles por un gran margen en lo que se refiere al volumen exportado (Cuadro 2.5). Así, en el año 2000, los tres países cubrieron el 70% de las exportaciones mundiales (Lamas, 2003).

Cuadro 2.5. Exportaciones mundiales de chile verde (miles de toneladas), período 1997-2000.

País	Año agrícola				T.M.C.A. *
	1997	1998	1999	2000	
España	351.0	402.8	403.2	359.9	0.8%
México	294.7	299.9	325.6	325.1	3.3%
Holanda	204.9	202.9	268.8	242.1	5.7%
E.U.A	71.8	68.9	74.6	81.4	4.3%
Hungría	27.3	36.9	36.2	39.3	13.0%
Turquía	38.0	27.2	27.9	32.1	-5.5%
Canadá	10.7	10.6	22.3	26.5	35.2%
Francia	11.9	16.6	22.1	23.9	26.0%
Israel	11.3	16.1	21.6	20.5	21.9%
Austria	2.7	9.7	15.7	19.4	93.6%
Resto	110.2	137.0	138.0	148.2	10.5%
Total	1234.5	1237.1	1356.0	1318.4	5.1%

* T.M.C.A: Tasa media de crecimiento anual

Fuente: FAOSTSAT, 2002, Lamas, 2003.

2.2.4.3 Valor de la producción

Respecto al valor de las exportaciones de chiles (Cuadro 2.6), Holanda se ubica en el primer lugar en todo el período analizado, no obstante que los volúmenes entregados son inferiores a los de España y México. De esta

manera en el año 2000, Holanda, alcanzó la cifra de \$448.5 millones de dólares en sus exportaciones, seguido de cerca por España con \$394.8 y por México con \$374.3 millones de dólares (Lamas, 2003).

Lo anterior se atribuye principalmente a que la producción holandesa se realiza primordialmente en invernaderos climatizados, logrando cosechas de excelente calidad durante los meses invernales, con lo cual captan los mejores precios en los mercados internacionales. Además los holandeses se concentran en la producción de variedades de chiles morrones tipo Bell Pepper, los cuales, hasta ahora, tienen mayor demanda y alcanzan mejores precios en todos los mercados (Lamas, 2003).

Los líderes en la arena competitiva mundial en cuanto a la combinación de la producción, volumen exportado y valor de las exportaciones son México, España y Holanda cuyas estrategias competitivas varían. Así, los productores mexicanos se basan en la variedad de chiles y sus derivados y bajos precios; los españoles se sostienen por la cantidad y bajos precios, y mientras los holandeses se distinguen por su alta calidad y oportunidad en los meses invernales (Lamas, 2003).

Cuadro 2.6. Valor de las exportaciones mundiales de chiles verdes, período 1997-2000.

Año agrícola					
País	1997	1998	1999	2000	T.M.CA *
(Millones de US dólares)					
Holanda	452.4	450.2	505.9	448.5	-0.3%
España	403.3	444.6	377.8	394.8	-0.7%
México	253.4	299.1	272.6	374.3	13.8%
E.U.A	66.5	69.8	69.2	80.5	6.6%
Canadá	18.7	34.4	38.8	51.1	39.9%

Israel	23.8	27.8	30.5	40.3	19.3%
Francia	17.8	27.0	28.1	33.3	23.3%
Resto	133.6	156.6	159.8	175.3	9.5%
Total	1370.0	1509.6	1482.8	1598.1	5.3%

* T.M.C.A: Tasa media de crecimiento anual.

Fuente: INEGI, FAOSTAT y USDA-ERS, 2002 y Lamas, 2003.

2.2.5 Nacional

En los últimos años la producción de chiles en México ha tenido una evolución satisfactoria, con los datos estadísticos de la FAO (1999), podemos observar un crecimiento del 38% al pasar de 900 mil a 1.4 millones de toneladas de producción anual. Por otra parte, al comparar las cifras oficiales de la Secretaría de Agricultura entre 1996 y 2000, la superficie cultivada de chiles aumentó casi un 35% en términos reales. En cuanto al porcentaje de participación relativa entre los cultivos hortícolas, los chiles verdes y secos también han escalado posiciones al pasar de un 22% en 1996 a un 33% en el 2000, de tal forma que el mercado de chiles tiene un valor estimado en los 735 millones de dólares (Rodríguez, 2001).

En cuanto a chiles verdes, donde se incluye al pimiento morrón ocupa una superficie de 94 mil hectáreas que significan un 55% del total. En el cultivo de pimiento, Sinaloa ocupa por lo menos el 10% y es el líder de las exportaciones, aunque también Chihuahua, Zacatecas, Sonora, Guanajuato y Michoacán tienen registros importantes de superficies y producción. Después de revisar los informes del USDA, ASERCA y BANCOMEXT, podemos establecer que las exportaciones de chiles picosos de México a Estados Unidos suman por lo menos 135 millones de dólares, se refieren principalmente a jalapeño, poblano, pasilla y anaheim (Rodríguez, 2001).

Aunque hasta 1996 las importaciones de chiles picosos se mantuvieron sobre los 100 millones de dólares, a partir de 1997, se incrementaron hasta alcanzar 170 millones en 1998, cuando se presentó la caída de la producción de chiles en Nuevo México. Para el año 2000, el USDA reporta las importaciones conjuntas de chiles picosos y pimientos fueron de más de 300 millones de dólares, que representaron un aumento del 33% con respecto a 1999, y tomando en cuenta el valor de la producción nacional, se tiene que las exportaciones de chiles podrían alcanzar más de un 35% del total. Durante el año 2000, las exportaciones totales de chiles y pimientos alcanzaron un volumen de 290 mil toneladas con precios promedio de 1,364 de dólares por tonelada de pimienta y de 641.9 para chiles picosos, con un promedio global de 1,200 dólares la tonelada, representando esto un incremento del 33% en el valor de las exportaciones con respecto a 1999 (Rodríguez, 2001).

2.3 Fisiología del crecimiento y la fructificación

A pesar de que el pimienta es una planta herbácea perenne, su ciclo de cultivo es anual. El rendimiento que se puede alcanzar depende de las condiciones del medio ambiente y principalmente de los factores climáticos, edáficos y bióticos, además del potencial genético del material vegetal y manejo agronómico del mismo (Muñoz y Castellanos, 2003). En el Cuadro 2.7 se especifican los requerimientos climáticos y ambientales, edáficos y bióticos.

Cuadro 2.7. Factores ambientales a considerar en el establecimiento y desarrollo del cultivo del pimienta morrón.

Factores	Parámetros
Climáticos	Radiación (intensidad, duración, distribución y calidad)
	Temperatura (mínima, óptima y máxima)
	Humedad relativa
	Viento

	Bióxido de carbono Contaminantes atmosféricos (NO ₃ ,SO ₄ ,etc.)
Edáficos	Agua (calidad y disponibilidad) Oxígeno en la zona radical (concentración) Nutrientes (concentración y disponibilidad) Sustancias tóxicas (concentración) Temperatura en la zona radical Espacio para la raíz
Bióticos	Plagas Enfermedades Malezas Competencia entre plantas del cultivo Organismos benéficos (insectos polinizadores)

Fuente: Muñoz y Castellanos, 2003.

2.4 Exigencias climáticos y ambientales

Los factores ambientales son fundamentales en toda producción agrícola, ya que son los que determinan la mayor o menor floración y como consecuencia un buen amarre de fruto que permite buen desarrollo de éstos (Muñoz y Castellanos, 2003).

2.4.1 Temperatura

El pimiento tiene requerimientos climáticos muy similares a los de la berenjena y del tomate, aún cuando los pimientos pueden resistir temperaturas menores. Los pimientos se producen mejor en un clima relativamente caluroso, en donde la temporada de crecimiento sea larga y donde exista poco peligro de heladas. El desfase térmico (diferencia de temperatura entre la máxima diurna y la mínima nocturna) pueden ocasionar desequilibrios en el desarrollo vegetativo. La coincidencia de bajas temperaturas durante el desarrollo del botón floral (entre 15 y 10 °C) pueden dar lugar a la formación de flores con algunas de las siguientes anomalías: pétalos curvados y sin desarrollar, formación de múltiples ovarios que pueden evolucionar a frutos distribuidos

alrededor del ovario principal, acortamiento de estambres y de pistilo, engrosamiento del ovario y pistilo, fusión de anteras, etc. Las bajas temperaturas también pueden inducir la formación de frutos de menor tamaño, que pueden presentar deformaciones, reducir la viabilidad del polen y favorecer la formación de frutos partenocárpicos (Muñoz y Castellanos, 2003). En el Cuadro 2.8 se muestra las etapas críticas del pimiento morrón.

Cuadro 2.8. Temperaturas críticas para el desarrollo de pimiento morrón en las distintas fases de desarrollo.

Fases del cultivo	Óptima		Temperatura	
	Día	Noche	Mínima	Máxima
Germinación	20-25 °C			
Crecimiento vegetativo	20-25 °C		13 °C	40 °C
Floración / fructificación	26-28 °C	16-18 °C	15 °C	32 °C
Se huela la planta	1 °C	18-20 °C	18 °C	35 °C
Detiene su desarrollo	10 °C			
Desarrollo deficiente	15 °C			

Fuente: Serrano, 1979.

2.4.2 Humedad relativa

La humedad relativa óptima oscila entre el 50-70%, especialmente durante la floración y “cuajado” de frutos son ideales para un óptimo crecimiento. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades y pueden dificultar la fecundación. La coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y de frutos recién “cuajados” (Muñoz y Castellanos, 2003).

2.4.3 Luminosidad

El pimiento es una planta que requiere buena iluminación, se le considera como una planta de día corto. A causa de la insuficiente intensidad de la luz el ciclo vegetativo se puede prolongar considerablemente (Guenko, 1974; citado por Burgueño, 1982).

2.4.4 Requerimientos de suelo

El pimiento prefiere terrenos sueltos, profundos, frescos y bien trabajados, ricos en sustancia orgánica, bien nivelado y en los cuales no exista posibilidad de estancamiento de agua. El suelo ideal para el cultivo del pimiento tipo Bell es areno-arcilloso, el cual retiene bastante bien la humedad y contiene una cantidad razonable de materia orgánica. En aquellas regiones en las que existe peligro de heladas, es preferible buscar suelos que se presten a una producción temprana. El pimiento no es especialmente sensitivo a la acidez del suelo teniendo límites en su pH de 5.5 a 7.0 (Vilmorín, 1977).

2.4.5 Riegos

El pimiento exige un suelo constantemente húmedo durante todo su desarrollo. La falta de agua se caracteriza por un follaje verde oscuro y por la caída de las flores. El exceso de humedad se exterioriza por una coloración verde claro que puede conducir a la asfixia radicular. Las irregularidades en el riego favorecen la necrosis apical de los frutos; la frecuencia de los riegos depende del clima y de la naturaleza del suelo (Sánchez, 1970).

Si el cultivo se hace en regiones no suficientemente lluviosas, se debe disponer de la posibilidad de riego debido a que los pimientos son muy propensos a la caída de flores, y también a la caída de los pequeños frutos debido a la falta de humedad del suelo, sobre todo en los tipos de frutos grandes (George, 1989).

2.4.6 Fertilización

Con relación a la fertilización aplicada de manera tradicional a nivel regional en México, se tienen las siguientes recomendaciones (Santiago, 2000):

- 1) Región Bajío: para el cultivo de chiles; ancho, pasilla, mulatos, guajillo o cascabel, aplicar $180-80-00 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N-P-K, distribuyendo la mitad del nitrógeno y todo el fósforo, a los ocho días después del trasplante, empleando de preferencia urea o sulfatos y superfosfato simple de calcio. La otra mitad del nitrógeno a los 60 días después del transplante (ddt) o al inicio de la floración, empleando sulfatos, nitratos o urea.
- 2) Región Huasteca: para el cultivo de chile serrano, aplicar $180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno, distribuidos como sigue: la mitad del nitrógeno a los 30 días después de la emergencia y el resto a los 100 días después de la emergencia.
- 3) Región Noroeste: para el cultivo de chiles pimiento dulce o tipo Bell, aplicar $250-250-100$ o bien $350-350-200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N-P-K, en caso de que el cultivo anterior no haya sido una hortaliza, distribuido como sigue: una tercera parte del nitrógeno, dos terceras partes del fósforo y dos terceras partes del potasio, antes del trasplante. En la fructificación dos terceras partes del nitrógeno, una tercera del fósforo y una tercera parte del potasio.

En la actualidad, la fertilización de los cultivos ha dejado de ser una actividad convencional, ya que ahora existen fórmulas que nos permiten diversas aplicaciones de fertilizantes, puede ser por vía foliar, en forma sólida, líquida (goteo, aspersión y fertirrigación) o combinada. Cada una de ellas se puede adaptar a las necesidades de los diferentes cultivos y sistemas de

producción, aunque en realidad una de las mejores opciones consiste en desarrollar un sistema integral de nutrición en el cual se combinan, de acuerdo con el tipo de suelo, el estado fenológico del cultivo y la infraestructura de la explotación (Santiago, 2000).

2.5 Índices de Cosecha

Para chile dulce del tipo Bell, los frutos se cosechan en estado de madurez verde sazón y se clasifican de acuerdo con las normas de calidad del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, ya que a ese mercado se destina el producto. La principal clasificación se hace con respecto al tamaño; los frutos grandes son aquellos de más de 8 cms de largo y 8 cms de ancho; los medianos tienen de 8 cm de largo y 7.5 cms de ancho, y los de tamaño chico tienen de 7 a 7.5 cm de largo y 6.5 a 7 cm de ancho. Existen además restricciones claras con respecto al grado de madurez tolerado, siendo los de excelente calidad aquellos que no presenten ningún cambio de color, o sea que tengan un verde uniforme. Otro aspecto muy importante es la sanidad del fruto y de que éste libre de manchas o raspones, de ahí la explicación de su cultivo bajo sistemas de estacado (Laborde y Pozo, 1982).

2.6 Vida de anaquel

Los pimientos pueden conservarse durante cuatro o cinco semanas con una humedad relativa del 85-90% y a una temperatura de 0°C. Para períodos de dos a tres días, se recomienda durante la carga una temperatura que no sobrepase los 10 °C y durante el transporte una temperatura entre los 4 y 10°C; para recorridos de cinco a seis días, la temperatura máxima no debe sobrepasar los 8°C durante la carga y se establece para el transporte una temperatura entre 4 y 8 °C (Sánchez, 1970).

2.7 ACOLCHADO DEL SUELO

El uso de los plásticos en la agricultura puede tener un papel importante, ya que por este medio, en las zonas áridas y semiáridas del país se trataría de lograr un uso más eficiente del agua de riego mediante los cultivos realizados en suelos cubiertos con película de plástico (acolchado o arropado). En las zonas húmedas o semihúmedas en las cuales el problema es elevada precipitación, con el uso de cubiertas plásticas se podrían proteger los cultivos y obtener buenas producciones mediante túneles o invernaderos. También en las regiones en las que; dado su clima frío; presentan problemas de heladas que afectan la producción agrícola en forma tradicional, se considera que el uso de lo plásticos en invernaderos y en campo se logrará elevar los rendimientos. Las formas de aplicar los plásticos en la agricultura son muy variados, entre las más importantes son las siguientes: acolchado, túneles, invernaderos, tuberías de plástico, redes, mallas y otros (Romero y Maeda, 1988).

La técnica del acolchado se aplica en dos modalidades: el acolchado total y el parcial. En el primer caso, cubriendo una parte del suelo con película plástica bien sea en el lugar de establecimiento de la planta o en el fondo de los surcos o canales de riego. En condiciones de temporal el acolchado parcial se utiliza para cubrir las áreas de escurrimiento para captar la mayor cantidad de agua en las áreas de siembra. En el caso de acolchado total cubriendo tanto el área de siembra como la de riego o de escurrimiento (Maeda, 1988).

La mayor parte de los cultivos pueden ser acolchados, las hortalizas son del grupo que más provecho y utilidad han obtenido de esta tecnología, entre las que más destacan se encuentran: berenjena, acelga, apio, coliflor, pepinos,

calabazas, cebolla, fresa, lechuga, melón, sandía, tomate, chile, etc., sin embargo cultivos industriales como el tabaco, algodón, junto con frutales y ornamentales se han visto beneficiados de igual manera (Martín y Robledo, 1978; citados por Burgueño, 1982).

2.7.1 Ventajas

Entre las principales ventajas de los acolchados (Maeda, 1988), están las siguientes:

- Reduce la evaporación del agua de suelo. Debido a que el material plástico es impermeable a los líquidos, impide la evaporación, quedando el agua disponible únicamente para el cultivo.
- Aumento en la temperatura del suelo. Durante el día, el plástico transmite al suelo la energía calorífica recibida del sol, haciendo el efecto de invernadero. Durante la noche, el plástico retiene el paso de las radiaciones caloríficas del suelo hacia la atmósfera, esto sirve como un medio de defensa para la planta contra las bajas temperaturas.
- Control de malas hierbas o malezas. Mediante la utilización de láminas de plástico se limita considerablemente el desarrollo de malas hierbas, debido a las temperaturas presentes debajo del plástico y, en caso de plásticos opacos por la imposibilidad de que se realice la fotosíntesis.
- Mejoramiento de la estructura del suelo. El suelo acolchado con plástico presenta condiciones ideales para el desarrollo de las raíces de la planta, éstas se hacen más numerosas y largas en sentido horizontal, debido a que tienen humedad a poca profundidad, con este incremento de raicillas se asegura a la planta mayor succión de agua, sales minerales y demás

fertilizantes. La acción de estas raíces sobre el suelo que las rodea y el aumento de materia orgánica por la cantidad de raíces muertas al finalizar el ciclo de cultivo pueden tener influencia en una mejoría de la estructura del suelo superficial.

- Conservación de la fertilidad del suelo. Con el acolchado del suelo se eleva la temperatura y se mantiene por más tiempo la humedad del mismo, estos factores favorecen la nitrificación y como consecuencia la disponibilidad de nitrógeno para la planta. Además por la protección dada al suelo se evita el lavado de nutrientes en el suelo como consecuencia de la lluvia o de riegos pesados.
- Modificación de los intercambios gaseosos aire-suelo. En estudios realizados recientemente parecen demostrar que el polietileno, por su poca permeabilidad a los gases, permitiría un almacenamiento de bióxido de carbono en un terreno acolchado, el cual, a través de los agujeros de plantación subiría a la parte aérea de la planta y jugaría un papel importante en la fotosíntesis del vegetal.
- Calidad de los frutos. El plástico al actuar como barrera de separación entre el suelo y la parte aérea de la planta, evita que los frutos estén en contacto con el terreno, lo que ayuda a conservar calidad y presentación que los hace más comerciales.
- Adelanto de la cosecha. El suelo arropado proporciona a la planta mejores condiciones para su desarrollo lo que se traduce en la presentación temprana de frutos adecuados para cosecharse con el consecuente beneficio económico.

2.7.3 Desventajas

Como principales desventajas de la producción agrícola bajo el sistema de acolchados, se tienen las siguientes (Bastida y Ramírez, 1999):

- El sistema es más caro que en los cultivos sin acolchar.
- Se requiere equipo especial y mayores conocimientos.
- Los plásticos deben retirarse cuando termina el ciclo agrícola.
- Los plásticos aumentan la contaminación del medio ambiente.

2.7.4 Características de los plásticos empleados para acolchados

Cuadro 2.9. Características de los plásticos empleados para acolchados.

Color o tipo de plástico	Características principales
Trasparente	• Calentamiento del suelo en el día • Mayor precocidad de los cultivos • Evita la evaporación del agua del suelo • Rápido desarrollo de la raíz • Apropiado para terrenos sin maleza
Negro	• Impide el desarrollo de malezas • Calentamiento lento del suelo • Evita la evaporación del agua • Mejora los rendimientos y calidad
Blanco	• Alta reflexión de la luz • Aumento de fertilización lumínica • Evita evaporación del agua • Repelencia a insectos • Estimula precocidad de cultivos • Poco aumento de temperatura del suelo
Blanco/Negro Coextruido	• Impide el crecimiento de malezas • Refleja la luz sobre las plantas • Evita evaporación del agua • Retarda el ataque de áfidos y mosca blanca • Controla el exceso de agua
Plata/Negro	• El lado negro evita el desarrollo de malezas • El lado plata refleja la luz aumentando la fotosíntesis

	• Retarda el ataque de áfidos y mosca blanca • Evita evaporación del agua
Plata/Plata	• Refleja luz y calor, aumentando la fotosíntesis • Ayuda a desarrollar plantas con tallos vigorosos • Evita el calentamiento excesivo del suelo • Evita la evaporación del agua
Termico/Opaco	• Retiene el calor durante la noche • Impide el desarrollo de malezas • Mejora el uso del agua • Evita la evaporación del agua
Aluminio	• Ayuda a controlar insectos • Refleja luz y calor, aumentando la fotosíntesis • Favorece la precocidad de los cultivos • Controla aumentos de la temperatura • Evita la evaporación del agua • Por la noche, permite el paso del calor
Amarillo	• Alta reflexión de la luz • Aumento de fertilización lumínica • Ayuda a controlar insectos • Aumento de precocidad del cultivo • Evita la evaporación del agua
Café	• Excelente reflexión de la luz • Transmite el calor al suelo • Permite el control de malezas • Evita la evaporación del agua del suelo
Biodegradable	• Aumenta la temperatura del suelo • Permite la recolección mecánica • Evita evaporación del agua

Fuente: Bastida y Ramírez, 1999

2.7.5 Superficie con acolchados en el mundo

Cuadro 2.10. Superficie con acolchados en el mundo.

Continente	Principal país	Superficie (ha)	Total (ha)
América	USA y otros	200,000	209,000
	México	9,000	
Europa	España	100,000	
	Francia	100,000	

	Italia	66,000	
	Portugal	23,000	
	Reino Unido	9,800	
	Grecia	4,600	
	Hungría	2,000	
Asia			305,400
	China	2,000,000	
	Japón	1,500,000	
	Turquía	1,000	
África			3,501,000
	Marruecos	6,700	
	Israel	4,000	
	Egipto	2,025	
	Argelia	800	
			13,525
Mundial			4,028,925

Fuente: Bastida y Ramírez, 1999

2.8 GENERALIDADES DEL RIEGO POR GOTEO

2.8.1 Antecedentes

El riego por goteo, se empezó a ensayar en Alemania en 1899 y en USA en 1918, mediante tuberías enterradas porosas o perforadas. El sistema resultó caro, por el tipo de tuberías que se utilizaban, y se tenían problemas de obstrucción, porque las raíces de las plantas acababan taponando las salidas, no tanto por su avidez de agua sino por la necesidad del oxígeno existente en las tuberías. Experiencias de este tipo también se realizaron posteriormente en otros países, como Japón, Israel, Canadá, Holanda, etc., pero acabaron finalmente desechándose (Medina, 2000).

Puede afirmarse prácticamente que el riego por goteo, tal como lo conocemos en la actualidad, se desarrolló en Inglaterra; después de la segunda guerra mundial; en invernaderos, semilleros y jardinería, utilizándose microtubos como emisores. Sin embargo, es en Israel en la década de los sesentas, tras el perfeccionamiento de las técnicas de extrusión e inyección de los plásticos, cuando se inicia su expansión (Medina, 2000).

2.8.2 Definiciones

El riego por goteo es un método de aplicación de agua, nutrientes y agroquímicos directamente a la zona radicular de las plantas en proporción controlada, lo que le permite obtener máximos resultados y minimizándose el uso del agua y otros recursos. Al controlar el área y la proporción en que el agua es aplicada, la humedad del suelo se optimiza. Las grandes variaciones en la humedad el suelo suelen causar estrés a las plantas y afectar su

crecimiento y la producción comercial. El riego por goteo es una herramienta de manejo, que cuando se opera correctamente, minimiza el estrés en las plantas (T-Tape, 2002).

El riego por goteo consiste en aplicar el agua a una zona más o menos restringida del volumen del suelo que habitualmente ocupan las raíces. La localización del agua en la proximidad de las plantas se manifiesta en que se modifican algunas características de las relaciones suelo-agua-planta, tales como: reducción de la evaporación, distribución del sistema radicular, régimen de salinidad, etc. La alta frecuencia de aplicación del agua implica importantes consecuencias sobre su aprovechamiento, ya que al estar siempre el suelo a la capacidad de campo o muy próximo a ella, las plantas absorben el agua con mucha facilidad (Fuentes, 1998).

El riego por goteo ofrece muchas ventajas como un método de aplicación de agua para la producción de hortalizas. Se aplica el agua en la zona de la raíz de la planta a través de emisores que controlan la misma descarga en cualquiera lugar de la parcela, siendo conducida hacia la parcela por tubería de plástico y dentro de la parcela por manguera de poliducto tipo cintilla. Además del agua se puede aplicar fertilizante líquido (fertirrigación) e inyectarse al utilizar este sistema, en el lugar donde se necesite. Así, las necesidades de agua y la aplicación de fertilizante se pueden realizar de acuerdo a las necesidades de la planta (Clark, 1992; citados por Bravo y Echavaria, 2003).

Se ha definido como aquel sistema que para conseguir mantener el agua en la zona radicular en las condiciones de utilización más favorables para la planta, aplica el agua gota a gota. De esta forma el agua es conducida por medio de conductos cerrados desde el punto de toma hasta la misma planta, a

la que se aplica por medio de dispositivos que se conocen como goteadores, goteros o emisores (Medina, 2000).

El riego por goteo, es un método por medio del cual se aplica agua y algunos productos químicos al suelo a través de una red de tubos y otros dispositivos especializados llamados emisores. El agua es llevada a la fuente a cada planta de cultivo, eliminando totalmente pérdidas por evaporación, logrando de esta manera un ahorro considerable del preciado líquido (Jaquez *et al.*, 1978).

Se tiene establecido que el riego por goteo como un método que consiste en la aplicación lenta y frecuente de agua al suelo a través de goteros o emisores (cintilla). Este método se caracteriza porque generalmente se aplica el agua y los nutrimentos directamente a la zona radicular del cultivo de manera constante. Se diseña para trabajar a duraciones cortas y altas frecuencias de riego. De esta manera la planta no sufre de escasez de agua y nutrimento, lo que permite incrementar su producción. La utilización de métodos modernos de irrigación y el uso de los acolchados plásticos busca efficientar el uso del agua en cultivos hortícolas principalmente (Mendoza *et al.*, 2002).

2.8.3 Características

Dentro de las características del riego por goteo (Medina, 2000), se tienen:

- El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical. En esto difiere sustancialmente del riego tradicional, en el que predominan las fuerzas de gravedad y, por tanto, el movimiento vertical. También difiere el movimiento de las sales.

- No se moja todo el suelo, sino sólo parte del mismo, que varía con las características del suelo, el caudal del gotero y el tiempo de aplicación. En esta parte húmeda, es en la que la planta concentrará sus raíces y de la que se alimentará.
- Al existir zonas secas no exploradas por las raíces y zonas húmedas, puede considerarse en cierto modo un cultivo en fajas o en surcos, pero con un sistema radical inferior al normal. Esto significa que sobre una faja de goteo habrá más plantas que un riego tradicional, por lo que se trata, en definitiva, de un cultivo intensivo, que requerirá, por tanto, un abonado adecuado para responder a las extracciones de las cosechas.
- El mantenimiento de un nivel óptimo de humedad en el suelo, implica una baja tensión de agua en el mismo. El nivel de humedad que se mantiene en el suelo es inferior a la capacidad de campo, lo cual es muy difícil conseguir con otros sistemas de riego, pues habría que regar diariamente y se producirán encharcamientos y asfixia radicular.
- Requiere una fertilización frecuente, pues como consecuencia del movimiento permanente del agua puede producirse un lavado excesivo de nutrientes.

2.8.4 Ventajas

Se han encontrado las siguientes ventajas (Urbano, 1999) del riego por goteo:

- Aumento de rendimientos. Estos incrementos de rendimiento pueden explicarse por el hecho de mantener la planta continuamente en un suelo

con humedad próxima a la capacidad de campo, eliminándose las alternancias de humedad producidas con otros tipos de riego.

- Mayor eficacia en la aplicación del agua, como consecuencia, ahorro de la misma. Se elimina pérdidas por escurrimiento superficial y por percolación. Además, toda el agua es aportada en las inmediaciones de la planta con lo que se reduce la superficie mojada, como consecuencia, las pérdidas por evaporación. Según Fereres y García Vilches 1972 (citados por Urbano, 1999) se han registrado ahorros de agua del 20 al 50%, que son más notables a medida que el clima es más árido.
- Al no mojar las hojas del cultivo, se ha observado menor intensidad en los ataques de plagas. Por otra parte, el sistema ofrece mejores posibilidades para la realización de tratamientos con pesticidas (quimigación) en cualquier momento.
- Por no mojarse toda la superficie del terreno, se ha observado, asimismo, menor proliferación de malezas.
- El sistema reduce de forma considerable las necesidades de mano de obra. Esta reducción puede ser casi total en los riegos automatizados.
- Disminución de la influencia del suelo (Arenillas, 1972; citado por Urbano, 1999). El suelo deja de jugar el papel de depósito que almacena el agua entre riego y riego. Mediante este sistema, pueden regarse impecablemente una serie de suelos que ofrecían dificultades para ser regados por gravedad u originarse pérdidas importantes regados por aspersión.

2.8.5 Desventajas

- La instalación del sistema es caro, por lo que existe una limitación de tipo económico en su aplicación a los cultivos. No todos los cultivos son tan rentables como para justificar las fuertes inversiones que el goteo supone.
- En zonas frías y con cultivos sensibles a las heladas, el riego por goteo no protege contra las mismas, por lo que su uso se debe de descartarse.
- Si se proyecta o se instala mal, puede ocasionar la pérdida de la cosecha por falta de agua o nutrientes.
- En zonas áridas en donde no exista la posibilidad de lavado, el uso sistemático y durante varios años de aguas de mala calidad puede perjudicar los terrenos de cultivo, si no se riega de forma adecuada.
- Obstrucción de los goteros por las partículas que arrastra el agua, y que en ocasiones, puede acarrear daños al sistema de riego y al cultivo.

2.9 FERTIRRIGACIÓN

2.9.1 Generalidades

Se entiende por fertirrigación la aplicación de sustancias nutritivas (iones minerales, compuestos orgánicos, vitaminas, aminoácidos, mejoradores, bioactivadores, hormonas, ácidos, etc.) requeridas por las plantas en el agua de

riego, aplicándolas en la cantidad, proporción y forma química requerida por estas según su etapa fenológica, ritmo de crecimiento y acumulación de materia seca, de tal manera que se logre a corto y largo plazo altos rendimientos con calidad y el mantenimiento de un adecuado nivel de fertilidad general en el suelo (Navarro, 2002).

Mediante la fertirrigación es posible aplicar, en forma oportuna y precisa, los nutrimentos que requieren las plantas para alcanzar altos rendimientos, es decir, los fertilizantes pueden aplicarse durante el ciclo del cultivo en las cantidades que las plantas los requieran, en cada etapa fenológica. Esto permite incrementar la eficiencia del uso de los fertilizantes (Hochmuth y Clark, 1991; citados por Bravo y Lozano, 2003).

La fertirrigación es la aplicación simultanea del agua de riego y los fertilizantes, generalmente de manera localizada y con elevada frecuencia (Alarcón y Egea, 1999). Con el riego localizado se reducen las pérdidas de agua por evaporación directa y el volumen de suelo humedecido, es relativamente bajo; con lo cual se reduce la capacidad de almacenamiento de agua, de ahí la necesidad de aplicaciones frecuentes de volúmenes reducidos de agua con lo cual se reducen las pérdidas por escurrimiento y percolación (Muñoz y Castellanos, 2003).

2.9.2 Ventajas

La fertirrigación ofrece las siguientes ventajas, con respecto al abonado tradicional (Fuentes, 1998):

- Los fertilizantes se localizan en la zona donde se desarrollan las raíces. Si se hiciera un abonado tradicional, una parte del fertilizante caería fuera del bulbo húmedo y se desaprovecharía éste total o parcialmente. Por otra parte, en la fertirrigación los fertilizantes nitrogenados se distribuyen de una forma homogénea por todo el bulbo.
- En el abonado y riego tradicional, los fertilizantes fosfóricos y potásicos quedan en la superficie, mientras que en la fertirrigación pueden alcanzar una profundidad de 50-60 cm, lo cual facilita una mejor absorción por las plantas.
- Los fertilizantes se suministran a la planta conforme a sus necesidades en las distintas etapas de su desarrollo, aunque esta gran ventaja no se aprovecha más que parcialmente, debido al desconocimiento de las necesidades de muchos cultivos en sus distintas etapas. Por otra parte, cuando aparecen síntomas carenciales se puede actuar con mucha rapidez para corregirlos.
- En la fertilización tradicional se hacen aplicaciones nitrogenadas cuantiosas, lo que puede dar lugar a pérdidas importantes por lavado y volatilización, sobre todo en suelos arenosos. La reducción de estas pérdidas en fertirrigación y el mejor aprovechamiento de los fertilizantes por los cultivos, suponen un ahorro que puede alcanzar o superar a un 30%.

2.9.3 Desventajas

Entre los posibles inconvenientes del sistema de fertirrigación (Cadahía, 1998) podemos citar:

- Costo inicial de infraestructura
- Taponamiento de los goteros
- Manejo de personal especializado.

2.9.4 Los fertilizantes y su uso en fertirrigación

2.9.4.1 Características de los fertilizantes en fertirrigación

Para emplear correctamente los fertilizantes hay que tener en cuenta aquellas características que pueden influir sobre el suelo, el cultivo y/o el manejo de la instalación. Las características a considerar (Fuentes, 1998), son:

2.9.4.1.1 Solubilidad

Todos los fertilizantes utilizados en fertirrigación deben de tener un grado de solubilidad que impida las obturaciones con partículas sólidas sin disolver. La solubilidad depende de la temperatura del agua: a mayor temperatura corresponde mayor solubilidad (Fuentes, 1998). En el Cuadro 2.11 se señala la solubilidad de algunos fertilizantes.

Cuadro 2.11. Solubilidad de algunos fertilizantes a 20°C.

Fertilizante	Solubilidad (g/l)
Nitrato de calcio	1200
Nitrato de amonio	1700
Sulfato de amonio	500
Urea	500
Nitrato de potasio	300
Sulfato de potasio	110
Fosfato monopotásico	200
Fosfato monoamónico	200

Sulfato de magnesio	700
Nitrato de magnesio	550
Cloruro de potasio	350
Bórax	50

Fuente: Rodríguez, 2004

Hay que tener en cuenta que al disolverse un sólido en agua se produce una reacción endotérmica, con un descenso de la temperatura de la solución, lo que reduce su solubilidad. Este descenso de temperatura es muy marcado con algunos fertilizantes, como ocurre, por ejemplo, con nitrato amónico y urea, por lo que se recomienda no pasar del 75% de los límites de solubilidad (Fuentes, 1998).

2.9.4.1.2 Conductividad eléctrica

Bajo condiciones de agua y/o suelo con determinada salinidad, el conocer este parámetro del fertilizante permitirá elegir aquellos que presentan una baja conductividad eléctrica (Cuadro 2.12). Caso contrario (Cuadro 2.13 y 2.14) se deberán utilizar los que generen mayor conductividad; en este último caso en algunos cultivos, dependiendo de la fase fenológica, se busca incrementar la conductividad eléctrica de la solución del suelo para buscar un determinado beneficio (Rodríguez, 2004).

Cuadro 2.12. Conductividad eléctrica de algunos fertilizantes comerciales en una disolución con 0.5 g/l de agua pura.

Fertilizante	CE ($\mu\text{S/cm}$) *
Nitrato de amonio	850
Nitrato de potasio	693
Nitrato de calcio	605
Nitrato de magnesio	448
Sulfato de amonio	1033
Sulfato de magnesio	410

Sulfato de potasio	880
Fosfato monoamónico	455
Fosfato monopotásico	375
Cloruro de potasio	948

* CE: Conductividad eléctrica en mili Siemens por centímetro

Fuente: Muñoz y Castellanos, 2003; citados por Rodríguez, 2004.

Cuadro 2.13. Porcentaje de fosfato monoamónico cristalino insoluble por variación de la temperatura y concentración en la solución.

Concentración %	pH	CE * (mmhos/cm)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Insoluble (%)
50	3.89	56.1	23.3	15.0	74.5
40	3.90	53.2	23.2	15.0	52.6
30	3.92	55.7	23.2	15.5	26.7
20	3.98	52.1	23.5	16.2	1.4
15	4.03	53.2	23.4	18.1	-
10	4.07	40.6	23.5	20.3	-
5	4.17	26.7	23.6	21.8	-
2.5	4.24	15.7	23.5	22.5	-
1	4.51	6.4	23.6	23.2	-

* CE: Conductividad eléctrica en milimohs por centímetro

Fuente: Fesa–Enfersa, 1991; citado por Rodríguez, 2004.

Cuadro 2.14. Porcentaje de nitrato de potasio insoluble por variación en la temperatura y la concentración en la solución.

Concentración %	pH	CE * (mmhos/cm)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Insoluble (%)
40	10.02	143.5	24.5	12.1	73.1
30	10.02	134.8	24.4	11.6	49.1
20	10.03	127.2	24.7	11.9	13.0
15	10.01	108.6	24.6	13.9	3.4
10	10.00	80.6	27.7	17.3	1.4
5	9.95	47.2	24.6	20.8	-
2.5	9.91	27.2	24.7	22.7	-
1	9.63	13.3	24.6	22.9	-

* CE: Conductividad eléctrica en milimohs por centímetro

Fuente: Fesa–Enfersa, 1991; citado por Rodríguez, 2004

2.9.4.1.3 pH

Es otro parámetro para la selección del fertilizante, ya que dependiendo de las condiciones del agua, del suelo o los requerimientos de la planta, será la reacción del fertilizante a utilizar (Cuadro 2.15). La calidad del agua en su contenido de HCO_3 y las características de los fertilizantes tienen una relación estrecha con el pH final. El manejo del pH en la preparación de la solución nutritiva y en su incorporación al suelo a través del sistema de riego por goteo, podrá evitar que se tengan precipitados insolubles que obturen los emisores y que se desequilibre la nutrición de la solución (Rodríguez, 2004).

Cuadro 2.15 Reacción de los fertilizantes en la solución nutritiva

Fertilizante	Reacción
Nitrato de amonio	Ácida
Nitrato de potasio	Básica
Nitrato de calcio	Básica
Nitrato magnesio	Neutra
Sulfato de amonio	Muy ácida
Sulfato de magnesio	Neutra
Sulfato de potasio	Neutra
Fosfato monoamónico	Ácido
Fosfato monopotásico	Básica
Hidróxido de calcio	Básica

Fuente: Rodríguez, 2004

2.9.4.1.4 Temperatura

Los fertilizantes al mezclarse con el agua pueden presentar reacciones térmicas que pueden cambiar la temperatura de la solución e influir en la solubilidad de los fertilizantes a incorporar. La mayoría de los fertilizantes tienen una reacción endotérmica (nitratos, urea, amonios, etc.) al solubilizarse en el agua, es decir bajan la temperatura de la solución al ser incorporados. Es importante considerar este fenómeno en la época invernal o cuando se trabaja con agua fría (Cuadro 2.16) (Rodríguez, 2004).

Cuadro 2.16. Reacción térmica de los fertilizantes.

Fertilizante	Reacción
Nitrato de amonio	Endotérmica
Urea	Endotérmica
Sulfato de amonio	Endotérmica (-)
Fosfato monoamónico	Endotérmica
Nitrato de potasio	Endotérmica
Sulfato de potasio	Endotérmica (-)
Ácido fosfórico	Exotérmica *
Ácido nítrico	Exotérmica *
Ácido sulfúrico	Exotérmica *

* Endotérmica: Es aquella en la que se absorbe calor del medio

** Exotérmica: Es aquella en la que cede calor al medio: su uso se deberá realizar con los cuidados requeridos para su mezcla. Siempre aplicar el ácido al agua, nunca al revés.

Fuente: Rodríguez, 2004.

2.9.4.1.5 Compatibilidad de las mezclas

Los fertilizantes por su composición iónica, estos pueden interactuar entre si y precipitarse, perdiendo su eficiencia y posiblemente obturar los emisores. Una de las incompatibilidades iónicas más importantes en seco o en el agua se da en los aniones y cationes, $\text{Ca}^{++} / \text{HPO}_4^-$ y $\text{Ca}^{++} / \text{SO}_4^-$ (Rodríguez, 2004). En el Cuadro 2.17 se señala la compatibilidad de los fertilizantes.

Cuadro 2.17. Compatibilidad de los fertilizantes.

Nitrato de amonio									
E	Nitrato de calcio								
I	I	Amoniaco anhidro							
E	I	L	Sulfato de magnesio						
I	E	L	E	Urea					
C	I	L	E	E	Sulfato de amonio				
C	I	I	E	L	C	Fosfato monoamónico			
C	I	I	E	L	C	L	Fosfato diamónico		
C	I	I	E	L	C	C	C	Fosfato monopotásico	

C	L	I	E	L	C	C	C	C	Nitrato de potasio	
C	I	I	E	L	C	C	C	C	C	Sulfato de potasio
E	L	I	E	L	L	L	L	C	L	L (NO ₃) ₂ Mg

C = Mezcla 100 % compatible en seco y en tanque.

I = Mezcla incompatible en seco y en tanque. No realizar.

E = Mezcla compatible sólo en tanque al momento de inyectar.

L = Mezcla de compatibilidad limitada en seco y en agua. Usar cantidad limitada.

Fuente: Rodríguez, 2004

2.9.5 Equipos de fertirrigación

Hay equipos para la fertirrigación (Fuentes, 1998) que pueden ser del tipo:

- Tanque de presión diferencial

Consiste en un depósito cerrado herméticamente, en donde se coloca el fertilizante en forma sólida o en solución líquida. Una tubería de entrada al depósito y otra de salida, lo conectan a la tubería de riego en dos puntos próximos; entre ambos se instala una válvula de reducción de presión, cuya misión consiste en crear una diferencia de presión para que una parte del agua de la tubería se desvíe al depósito desplazando gradualmente el fertilizante que contiene, por lo que su concentración va disminuyendo progresivamente. El tanque de presión diferencial es barato y adecuado cuando no se dispone de fuente de energía. Tiene el inconveniente de que la concentración de fertilizante no sea uniforme a lo largo del riego (Fuentes, 1998).

- Inyector venturi

Consiste esencialmente en una tubería conectada en paralelo a la red y provista de un estrechamiento en donde se produce una depresión que provoca la succión de la solución fertilizante. Entre los dos puntos de conexión a la red

se instala una válvula cuya función es producir una diferencia de presión para derivar una parte del agua de la red al sistema.

El depósito de fertilizante va provisto de un mecanismo de cierre para evitar que el aparato siga funcionamiento con el depósito vacío, lo que provocaría la inyección de aire en la red. En este equipo la concentración de la solución nutritiva en el agua de riego es constante durante todo el tiempo. Tiene el inconveniente de que produce una pérdida de carga importante, lo que se puede evitar instalando varios inyectores en serie, con una pequeña bomba centrífuga en un circuito en paralelo (Fuentes, 1998).

- Dosificador de abono

Este aparato consiste en una bomba de pistón o de diafragma, que toma el abono líquido de un depósito sin presión y lo inyecta con presión a la red. Puede ser accionado por un motor eléctrico (dosificador eléctrico) o por la presión de la red (dosificador hidráulico). Algunos modelos hidráulicos necesitan una presión de 2 atmósferas, lo que puede ser inconveniente en riegos de baja presión. Los dosificadores mantienen la concentración de la solución nutritiva constante durante todo el tiempo de riego. Son más caros que los anteriores, pero son más precisos (Fuentes, 1998).

2.10 NUTRICIÓN MINERAL

2.10.1 Constituyentes

Se señala que la composición de la materia fresca de las plantas incluye cerca de un 80-95% de agua. El exacto porcentaje de ésta dependerá de la

especie, así como de la turgencia de la planta en el momento de la toma de la muestra, lo cual será el resultado de la hora del día, de la cantidad de humedad existente en el suelo, de la temperatura, de la velocidad del viento y de otros factores. A causa de la variabilidad del peso en fresco de las plantas, los análisis químicos de ellas se hacen generalmente basados en la materia seca, lo cual es más confiable. La materia húmeda de las plantas se seca a 70 °C entre 24 y 28 horas, el peso de la materia seca que nos quedará será aproximadamente de un 10 a un 20% del peso inicial, en fresco. Aproximadamente el 90% del peso seco de la mayoría de las plantas, está formado por tres elementos: carbono (C), oxígeno (O), e hidrógeno (H). El agua proporciona hidrógeno y oxígeno, el cual también proviene del dióxido de carbono de la atmósfera, al igual que el carbono (Howard, 1997).

Si solamente el 15 % del peso en fresco de una planta es la materia seca, y el 90 % ésta representado por carbono, oxígeno e hidrógeno, entonces todos los otros elementos que existen en la planta serán aproximadamente de un 1.5 % del peso en fresco (Howard, 1997).

2.10.2 Elementos minerales esenciales

Un elemento mineral deberá cumplir cada uno de los tres criterios, para ser considerado esencial en el crecimiento de las plantas (Arnon y Stout, 1939; Arnon, 1950-1951; citados por Howard, 1997):

- La planta no podrá completar su ciclo de vida en la ausencia del elemento.

- La acción del elemento debe ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente.
- El elemento deberá estar directamente implicado en la nutrición de la planta; esto es, ser un constituyente de un metabolito esencial o, por lo menos, ser necesaria su presencia por la acción de una enzima esencial, y no ser simplemente la causa de que otros elementos sean más fácilmente asimilables, o ser al menos un antagonista de un efecto tóxico de otros elementos.

Solamente 16 elementos están generalmente considerados como esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Estos están divididos entre macronutrientes (aquellos requeridos en relativamente gran cantidad por las plantas) y los micronutrientes (aquellos que son requeridos en considerablemente menor cantidad). Los macronutrientes incluyen carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S) y magnesio (Mg) (Howard, 1997).

Dentro de los microelementos se tienen: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mo) y cobre (Cu). La carencia de uno de ellos afecta al menos en la misma medida que la de un elemento mayor como el nitrógeno (N), fósforo (P) o potasio (K). Últimamente, algunos elementos como cloro (Cl), sodio (Na) y sílice (Si) se han adicionado a este grupo de nutrientes, mientras que otros como vanadio (Va), cobalto (Co) y titanio (Ti) se encuentran en proceso de estudio y podrían agregarse a esta lista, de acuerdo a los resultados prácticos obtenidos en el campo (Sanabria, 2004).

2.10.3 El ácido sulfúrico y la disponibilidad de fósforo para las plantas

Se señala, que el fósforo de suelos calcáreos de Arizona se encuentra como hidroxiapatita, la cual es relativamente insoluble, pero potencialmente aprovechable. Se demostró que el H_2SO_4 incrementó el P aprovechable y por lo tanto el crecimiento de las plantas en suelos deficientes en P (Ryan y Stroehlein, 1973).

Posteriormente, aplicándose H_2SO_4 en el agua de riego para observar su efecto sobre el pH, Ca^{++} , HCO_3^- , H_2CO_3 y basada su evaluación sobre relaciones conocidas del equilibrio del carbonato, comparándose los resultados teóricos con los experimentales obtenidos de aguas con clases de salinidad, C_2 , C_3 , C_4 y clases de alcalinidad S_1 y S_2 el nivel de ácido aplicado fué de 6.0 meq/litro. Los resultados indicaron que el análisis teórico puede ser útil en calcular la cantidad de ácido necesario para prevenir la precipitación del Ca y también para producir cambios en el pH y acerca de las especies iónicas sobre la adición de H_2SO_4 , dentro del rango probado (Miyamoto *et al*, 1975).

En estudios realizados en invernadero con lechuga en suelo calcáreo, se encontró que la aplicación de azufre y H_2SO_4 , aumentaron la disponibilidad de fósforo en el suelo y el desarrollo y concentración de P en las plantas. El aumento de éste elemento fue proporcional a los cambios en el pH (Clement, 1978).

Se asevera que el H_2SO_4 controla la precipitación del calcio y bicarbonatos provenientes del agua de irrigación, reduce los daños por sodio provenientes de aguas con alta relación sodio/calcio y magnesio, causante de la destrucción de la estructura del suelo, reduce la volatilización del amoníaco

anhidro o agua amoníaca hasta en un 50% o más y recupera los suelos afectados por sodio (Stroehlein *et al.*, 1978).

En otros estudios se establecieron experimentos con tomate, en suelos tratados con H_2SO_4 para reducir la capacidad buffer, en donde hubo respuestas significativas en rendimiento de materia seca. Y se aumentó significativamente el P soluble y la capacidad de abastecimiento de fósforo por el suelo. Los resultados indican que el H_2SO_4 como producto de desecho de industrias, tiene un alto potencial como mejorador de suelos calcáreos deficientes en fósforo (Ryan y Stroehlein, 1979).

Al comparar diferentes mejoradores químicos en suelos calcáreos en Sinaloa, se encontró que aplicaciones de H_2SO_4 , azufre y yeso agrícola, en el agua de riego y el suelo, respectivamente, aumentaron el rendimiento de soya y la cantidad de fósforo aprovechable para el cultivo. Se indica que $600 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ de H_2SO_4 incrementaron el rendimiento de soya y el contenido de sulfatos en las hojas (Mascareño, 1980; citado por Avalos, 1986).

Se reporta el efecto del azufre y del ácido sulfúrico sobre la disponibilidad de fósforo y producción del tomate en el Valle de Culiacán. Se realizaron en laboratorio análisis para determinar los cambios en el pH y contenido de fósforo (P-PO_4) y de azufre en el tejido durante el desarrollo del cultivo de tomate de vara, variedad Floradade. Se estudiaron 13 tratamientos de fertilización fosfórica en combinación con los mejoradores de suelo (azufre y ácido sulfúrico industrial), se incluyó un testigo sin mejorador (solo con $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5), en dos tratamientos se aplicó la dosis de $350 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 , en dos tratamientos se aplicó la dosis de $350 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 en una y dos bandas (Avalos, 1986).

Resultados obtenidos:

- El pH del suelo disminuyó conforme se incrementó la dosis del mejorador, con 526 l·ha⁻¹ de ácido sulfúrico el pH bajó de 7.5 a 6.5 en 30 días y con 600 kg·ha⁻¹ de azufre en 60 días.
- El ácido sulfúrico incrementó la disponibilidad del P más que con azufre y con 350 kg·ha⁻¹ de P₂O₅, la cantidad de P disponible fue mayor que con 250 kg·ha⁻¹.
- La concentración de fósforo (P-P₀₄) y de azufre en el análisis foliar resultó mayor para todos los tratamientos con ácido sulfúrico y azufre con respecto al testigo.
- Con aplicación de 526 l de ácido sulfúrico se logró aumentar la producción total de tomate de 0.64 a 1.53 ton·ha⁻¹, también se incrementó su cantidad para exportación, siendo más evidente en los tamaños 5x6 y 6x6.

Por otra parte, se evaluó el uso de soluciones fertilizantes acidificadas, que se aplicaron tanto en el agua de riego como al suelo. La investigación se desarrolló en invernadero y campo en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua. En invernadero las macetas se trataron con tres niveles de H₂SO₄ (AS); 0, 15 y 30 l·ha⁻¹; tres de FeSO₄·4H₂O (SF): 0, 10 y 20 kg·ha⁻¹ y cinco frecuencias de aplicación (FA); aplicados en el riego y el cultivo indicador fue sorgo. En campo se manejó la

rotación trigo-sorgo durante tres años y se estudiaron las dosis de $15 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ de AS, $20 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de SF, $5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de ZnSO_4 (SZ), $2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de MnSO_4 (SM) y dos FA en el riego y 0.5 y $1.0 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de AS directos al suelo y un testigo dando un total de 11 tratamientos. La aplicación de SF con AS comercial aforado en el agua de riego corrigió la clorosis férrica en sorgo y la aplicación de $20 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de SF con $15 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ de AS industrial con FA fue el mejor tratamiento tanto a nivel invernadero como de campo y se obtuvieron las mejores producciones de sorgo y trigo. El zinc y el manganeso sólo incrementaron significativamente los rendimientos de sorgo. La metodología de aplicar al AS comercial en dosis bajas, solo y/o con Fe, Zn o Mn en el riego, puede ser usada en suelos calcáreos para corregir deficiencias, sin serios problemas en su manejo, resultando más económico y técnicamente más eficiente que las aplicaciones de $1.0 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de AS ($1800 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) directas al suelo (Lee *et al.*, 1998).

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo se realizó durante el ciclo Primavera–Verano del 2004 en el Campo Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), el cual se encuentra localizado al noroeste de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México. Específicamente se encuentra dentro de las coordenadas geográficas 101° 02' Longitud Oeste y 25° 27' Latitud Norte del meridiano de Greenwich y con una altitud de 1610 msnm.

3.2 Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen y modificada por García (1973) el clima de Saltillo corresponde a un seco estepario, con fórmula climática BsoK (x') (e').

Donde:

Bso: Es el clima más seco de los Bs.

K: Templado con verano cálido, siendo la temperatura media anual entre 12 y 18 °C, y la temperatura media del mes más caluroso de 18 °C.

(x'): Régimen de lluvias intermedias entre verano e invierno.

(e'): Extremoso con oscilaciones entre 7 y 14 °C.

En general la temperatura y precipitación pluvial media anual son de 18 °C y 365 mm respectivamente, los meses más lluviosos son principalmente los que comprenden entre julio y septiembre, concentrándose la mayor parte en el mes de julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose

las más altas en los meses de mayo y junio con 236 y 234 mm respectivamente (Callegas, 1988).

3.3 Suelo

El tipo de suelo que presenta el campo experimental es de textura limo-arcillosa, con contenidos de arcilla (42.0%), limo (45.4%) y arena (12.0%). Es ligeramente salino, con una conductividad eléctrica de 9.7 milimhos/cm y medianamente alcalino, presentando un pH de 8.1. Se le considera medianamente rico en materia orgánica (2.38%), con contenidos pobres de nitrógeno total y potasio intercambiable, contenidos medianos de fósforo aprovechable y altos contenidos en carbonatos totales. La capacidad de campo es de 28.0% y el punto de marchitez permanente de 15.2%, con una densidad aparente de 1.25 g/cc. El agua de riego es de clase C3, S1, de calidad media, apta para suelos bien drenados (Munguía, 1985).

3.4 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue un bloque al azar, con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos / repetición como se muestra en el Cuadro 3.1. En total se tuvieron 16 unidades experimentales para cada muestreo en el cultivo. La distribución en el campo se llevo de manera aleatoria como se muestra en la Figura 3.1.

Cuadro 3.1. Formulas de fertilización evaluadas.

Tratamientos	Fertilizaciones
T1 *	Solución 1: 300-150-450, sin ácido H ₂ SO ₄
T2	Solución 2: 300-150-450, con ácido H ₂ SO ₄

T3	Solución 3: 150-75-225, sin ácido H ₂ SO ₄
T4	Solución 4: 150-75-225, con ácido H ₂ SO ₄

*: Testigo

Los tratamientos con ácido recibieron una inyección de tanque de 10 l·m⁻³ de agua, el tanque contenía una concentración de 10 litros de H₂SO₄, en 600 litros de agua.

El procedimiento para la revisión de los resultados fue mediante el análisis de varianza, aplicando un diseño de bloques al azar mediante el paquete de diseños experimentales (FAUANL). La prueba de comparación medias se realizó con la prueba de Tukey ($p < 0.01$).

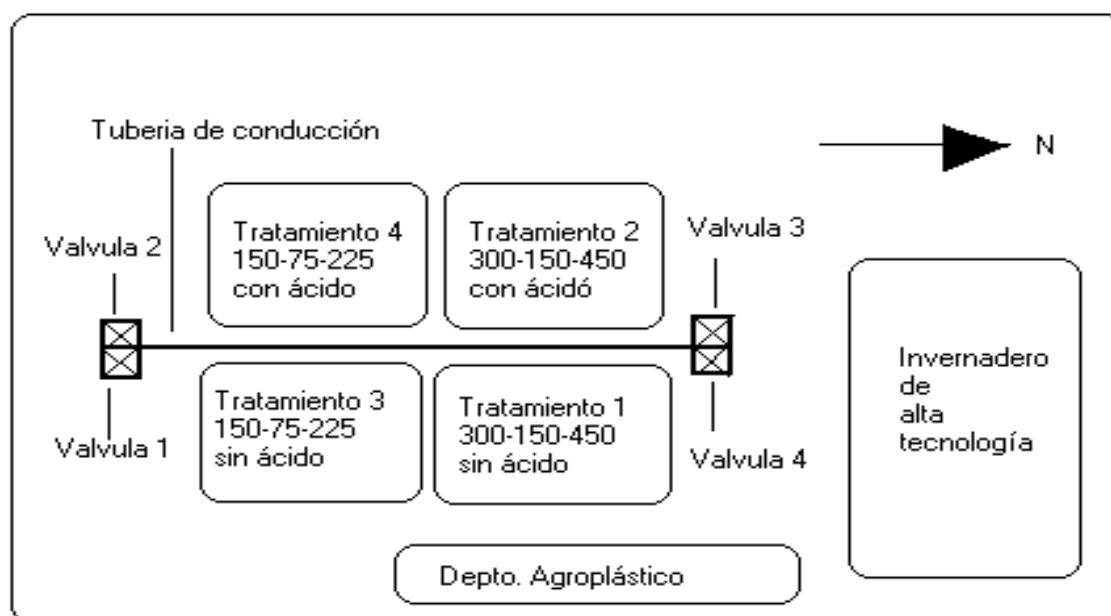


Figura 3.1. Disposición espacial de los cuatro tratamientos.

3.5 Establecimiento del experimento

3.5.1 Siembra del almácigo

Esta actividad se realizó el 15 de Enero del 2004, para lo cual se utilizaron charolas de poliestireno para germinación con 200 cavidades y Promix como sustrato, posteriormente para darle una mayor protección el almácigo y darle las condiciones climáticas requeridas para una mejor germinación y desarrollo de las plántulas, las charolas se colocaron bajo condiciones de invernadero.

La fertilización se aplicó diariamente con una dosis de 100 ppm de NPK aplicado durante todo el período de desarrollo de las plántulas, a través de un sistema de riego por microaspersión con intervalos de riego de 5 min cada hora entre las 9:00 am a 5:00 pm. El gasto de las boquillas fue de 40 l/h, a una presión de 40 Psi.

Para el control fitosanitario, básicamente se hicieron aplicaciones preventivas para enfermedades como *Damping-off*, *Pythium* spp, *Rhizoctonia*. Se utilizaron los siguientes productos: Tecto 60 en 1g/l de agua, Trevanil 75 PH y Prozycar 50 F con una dosis de 2 g/l de agua, se añadió 1ml/l de agua con adherente comercial. Estos productos (funguicidas) se aplicaron con mochila de 20 lts, con intervalo de cada 10 días de aplicación para cada producto.

3.5.2 Material vegetativo

Se utilizó semilla de pimiento morrón var. Júpiter de la empresa ROGERS, el cual es un pimiento de polinización abierta, de amplia adaptación tipo "Bell", es dulce, con altos rendimientos, de una madurez media, la planta es de mediano vigor con buen follaje de cobertura, produce frutos de tipo

cuadrados, grandes, con paredes gruesas, con tres a cuatro lóbulos, son de color verde oscuro y se vuelve rojo brillante al completar su madurez en la planta. Tiene resistencia a la enfermedad del virus del mosaico del tabaco.

3.5.3 Preparación del terreno

Con anticipación se realizó la preparación del suelo con las prácticas recomendadas y para la incorporación de residuos de material vegetal, así como de exponer a los microorganismos del suelo a condiciones ambientales desfavorables para disminuir así las posibles plagas y enfermedades que pudieran ocasionar perjuicios en el desarrollo del cultivo, de tal manera que el suelo estuviera en buenas condiciones para que el cultivo se desarrollara normalmente.

3.5.4 Acolchado de suelo

Una vez terminada la preparación del terreno, se procedió a cubrir el suelo mecánicamente con un material de plástico de tipo coextruido blanco/negro. El plástico fue de calibre 125 micras y de ancho 1.2 m, después de que el plástico cubrió todo el suelo, se enterró en sus extremos y laterales para darle una mayor resistencia contra el viento; posteriormente se procedió a perforar el plástico a doble hilera en tresbolillo. La distancia entre perforaciones fue de 30 cm, para realizar esta actividad se utilizó tubos de acero de fácil manipulación de dos pulgadas de diámetro, los cuales fueron calentados previamente para facilitar y sellar bien la perforación, evitando posibles maltratos a la película plástica y a la cintilla de riego.

3.5.5 Trazo del experimento

Esta práctica consistió en delimitar el área experimental, auxiliándose de una cinta métrica, para el establecimiento del experimento, el largo y ancho de la cama fue de 4.70 m con una distancia de 1.8 m entre camas, con 4 camas por tratamiento con un área útil de producción 30.96 m² por repetición, posteriormente se distribuyeron los tratamientos en 16 unidades, quedando un área real del experimento de 495.36 m².

La distancia entre plantas fue de 30 cm a doble hilera a tresbolillo, con 120 plantas por unidad experimental; obteniendo así una densidad de población de 36,666.67 plantas por hectárea. La formación de las camas, acolchado de suelo y colocación del sistema de riego (cintilla) se hicieron en forma mecanizada. Se establecieron dos surcos borderos, pero estos no fueron considerados en la evaluación por carecer de competencia completa.

3.5.6 Sistema de riego

Para el sistema de riego se utilizó cinta de riego netafim calibre 6 mil, con goteros cada 30 cm y un gasto de 0.89 lph. Con el fin de poder efectuar el riego y la fertilización del cultivo, se utilizó una línea de conducción en medio de cada dos tratamientos; se conectó una cintilla en medio de cada cama, para dar mayor distribución al agua y fuera mejor aprovechada por las plantas.

3.5.7 Transplante

Antes del transplante se dió un riego hasta su capacidad de campo. Las plantas antes de ser transplantadas se seleccionaron las más sanas y vigorosas. Esta actividad se realizó el 5 de mayo 2004 a los 111 días después

de siembra en charola ($\pm$ 3.5 meses). A partir de ese momento, se iniciaron los riegos en base a los requerimientos del cultivo, la fertilización se inició a los 22 días después del trasplante en base a los criterios y requerimientos del cultivo para su buen desarrollo.

3.5.8 Tutorado

Se realizó a los 50 días después del transplante, para esta labor se utilizaron estacas de 0.50 m que se enterraron a 0.30 m de profundidad en los extremos de los surcos. Cada 5 metros se colocaron arcos de alambIÓN de medio metro de altura en los extremos e intermedios de los surcos, posteriormente se colocó la rafia (hilo de polipropileno) con dos hilos en forma paralela a cada hilera de las plantas (Figura 3.2). Ello con el fin de evitar que las plantas cargadas de frutos se acamen, o que las ramas (como consecuencia del peso de los frutos), se quiebren o se doblen y los frutos toquen el suelo. Esta práctica facilita la ventilación y sanidad y frutos de la planta y la recolección de los frutos.

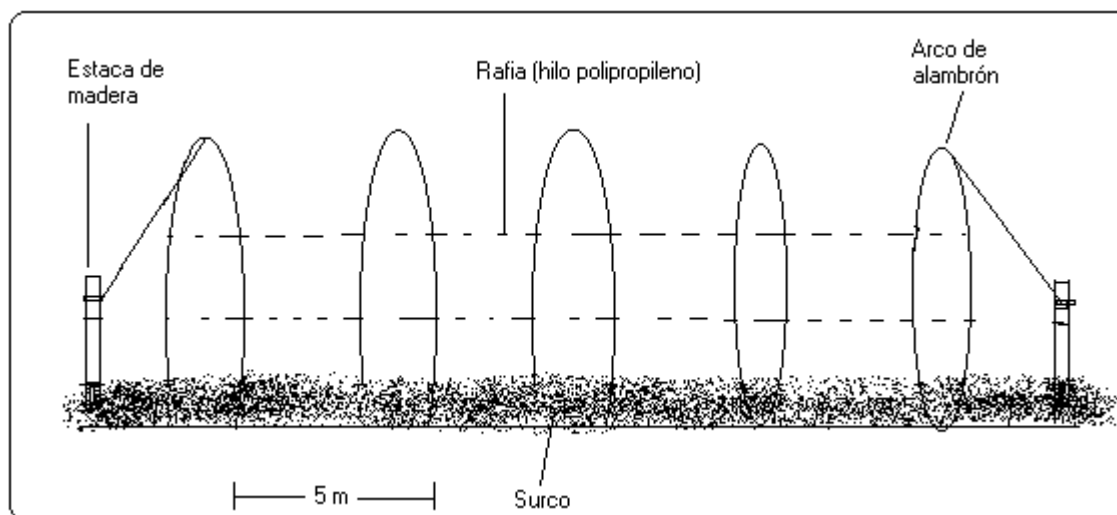


Figura 3.2. Tutorado en chile pimiento morrón.

3.5.9 Riego

El riego y la fertilización se aplicó con equipo de fertirrigación automatizado (FERTIGAL). Antes del transplante se dió un riego pesado para que al momento de transplantar el suelo estuviera a capacidad de campo (CC), utilizándose el sistema de riego por goteo, los riegos se aplicaron todos los días, con una lamina de riego en promedio diario de 2.87 mm y la lamina total fue de 42.5 cm.

3.5.10 Fertilización

Las fuentes de fertilizantes usadas fueron: urea (46-00-00), fosfato monoamónico (12-60-00) y nitrato de potasio (13-00-46) y ácido sulfúrico (H_2SO_4). La aplicación de estos elementos, se hizo en su totalidad por el sistema de fertirrigación (Figura 3.3), estos se aplicaron en forma diaria y fraccionada de acuerdo a las necesidades del cultivo, según sus etapas de

desarrollo. La fertilización se distribuyó en aplicaciones diarias dividiendo la dosis de 300-150-450 y 150-75-225 en un ciclo vegetativo de 120 días.



Figura 3.3. Equipo de fertirrigación automatizado (FERTIGAL).

El equipo de fertirrigación esta constituido por tres componentes principales:

Deposito de fertilizantes

El equipo cuenta con 5 tanques de 600 litros cada uno con un filtro de anillos de una pulgada de diámetro de 120 mesh¹, a la salida conectados a un agitador de

¹ Como unidad de medida se emplea el mesh, que es la densidad de mallas por pulgada cuadrada

aire para uniformizar la solución nutritiva. La solución se distribuye al menos en tres tanques, uno con los macroelementos (NPK), el segundo para los microelementos y el tercero para el ácido; los otros dos tanques se utilizan para aplicaciones de elementos como calcio y magnesio, cuando son necesarios.

Mecanismo de inyección

Cada tanque esta conectado a un rotámetro, el cual mide la inyección en base a pulsos electromagnéticos. Para la calibración del flujo de la solución nutritiva el equipo consta de 5 flotámetros, uno para cada tanque que regula la inyección; la inyección se efectua con 5 venturis conectados a cada uno de los tanques, hay una bomba mecánica que realiza el trabajo de la inyección del agua hacia las parcelas de riego, cada parcela cuenta con una válvula selenoide que se abre y cierra automáticamente, además tiene un medidor de pH y de conductividad eléctrica.

Procesador de datos

Esta compuesto por un CPU, que se alimenta con los datos proporcionados para establecer frecuencias cantidades y intervalos de riego y/o fertilizaciones, además cuenta con una computadora que puede ser manejada a distancia.

3.5.11 Labores culturales

Los deshierbes se efectuaron en los pasillos y en las zonas de perforación del plástico. Por las condiciones de precipitación que se presentaron, la proliferación de la maleza se incrementó en toda el área del

experimento, para ello se eliminaron constantemente durante todo el ciclo del cultivo, usando un azadón en los pasillos y manualmente donde se desarrolló la maleza en la base del tallo, principalmente en la etapa de transplante a inicio de floración.

3.5.12 Control de plagas y enfermedades

Para combatir las plagas y enfermedades, que se presentaron durante el ciclo del cultivo, se aplicaron en forma preventiva y de control con diferentes productos químicos. Las aplicaciones de estos productos (insecticidas y funguicidas), se realizó cuando se detectaron algunas plagas y enfermedades. Las plagas y enfermedades que más se presentaron en el cultivo de pimiento morrón se señalan en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Principales plagas y enfermedades en pimiento morrón var. Júpiter y su control.

Producto utilizado	Plaga o enfermedad	Dosis por mochila *
Agrimec 1.8% CE	Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)	20 ml
Endosulfan 3 CE	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	60 ml
Permetrina 500 CE	Gusano del fruto (<i>Heliothis zea</i>)	25 ml
Methomyl 90	Gusano falso medidor (<i>Trichoplusia ni</i>)	20 g
Agrimec 1.8% CE	Minador de la hoja (<i>Liriomiza munda</i>)	20 ml
Methomyl 90	Gusano soldado (<i>Spodoptera spp</i>)	20 g
Metamidofos 600	Pulgones (<i>Myzus persicae</i>)	30 ml
Dimetoato 400 CE	Pulgones (<i>Myzus persicae</i>)	30 ml
Trebanil 75 PH	Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>)	125 g
Promyl 50 PH	Cenicilla polvorienta (<i>Erysiphe horacearum</i>)	30 g
Tecto 60	<i>Fusarium spp.</i>	40 g
Ridomil Gold 4E	Secadera o tristeza del pimiento (<i>Phytophthora capsici</i>)	50 ml
Prozycar 500 F	<i>Phytium spp.</i>	25 g
Cupravit Hydro	Mancha bacteriana (<i>Xanthomonas campestris pv. Vesicatoria</i>)	80 g

*: Mochila de 20 litros, se utilizó un adherente comercial (Bionex) a una dosis de 1ml/l de agua.

3.6 Variables evaluadas

3.6.1 Variables de crecimiento y desarrollo (CyD)

Para la determinación de las variables de crecimiento y desarrollo se cosechó una planta representativa en cada tratamiento y repetición. Se realizaron cuatro evaluaciones en cuanto a: área foliar, altura de planta, diámetro del tallo, en las siguientes fechas: 62, 84, 107, 127 días después del transplante (ddt).

3.6.1.1 Área foliar (AF)

Se tomó la lectura del área de las hojas, la cual consistió en desfoliar las plantas seleccionadas, dejando el tallo hasta el ápice de crecimiento, para medir esta variable se usó un medidor de área foliar (LI-COR Modelo LI-3100 cm²), el cual acumuló la lectura de cada planta. El equipo previamente calibrado con una forma metálica de 50 cm². Los resultados se expresan en cm².

3.6.1.2 Altura de planta (AP)

Se midieron las plantas desde la base del suelo hasta la parte más alta de la planta, utilizándose una cinta de medir registrándose los datos en cm.

3.6.1.3 Diámetro del tallo (DT)

Para la medición se utilizó un vernier tomando la medida en la parte basal del tallo, aproximadamente por encima del suelo del acolchado plástico,

los resultados de la misma fueron registradas en cm, durante los cuatro muestreos realizados.

3.6.1.4 Materia seca (MS)

La medición se realizó para: peso seco de fruto (PSFr), tallo (PSTa), flores (PSFI), hoja (PSH) y peso seco total (PST), en los cuatro muestreos realizados. Los distintos componentes por separado, fueron colocados dentro de bolsas de papel estraza, las cuales fueron depositadas en una estufa Blue M Electric Company a una temperatura de 70–75 °C, por un período de 72 hrs. Una vez totalmente secas, se procedió a pesar las muestras de cada una de las partes mencionadas, se utilizó una balanza electrónica AND - HR -120. Los resultados se expresaron en gramos.

3.6.2 Variables de rendimiento

Para las variables: número de frutos / planta, rezaga, peso del fruto, se realizaron cuatro muestreos en las siguientes fechas 82, 104, 126 y 148 ddt. Para las variables: rendimiento por tratamiento y rendimiento total se evaluaron en nueve fechas: 58, 71, 82, 92, 104, 113, 126, 138 y 148 ddt.

3.6.2.1 Número de frutos por planta (NFPP).

Se contabilizaron los frutos recolectados para cada repetición, de los cuatro tratamientos, durante los cuatro muestreos que se hicieron, tomándose en cuenta los frutos que reunían las características deseables para el mercado, o sea que estuvieran libres de daños.

3.6.2.2 Rezaga (Re)

Para esta variable se contabilizó los frutos que presentaran deformaciones, quemaduras de sol y daños causados por plagas, en cuatro muestreos. Los datos se presentan en porciento.

3.6.2.3 Peso del fruto (PF)

Para esta variable, se registró el peso total de los frutos recolectados por repetición para todos los tratamientos, en los cuatro muestreos que se realizaron durante el ciclo del cultivo. Se reporta en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

3.6.2.4 Rendimiento por tratamiento (RpT)

Con el peso del fruto de cada repetición, y con la superficie de cada unidad experimental se estimó el rendimiento por hectárea en los nueve cortes realizados, registrándose en $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$.

3.6.2.5 Rendimiento acumulado (RA)

Se obtuvo pesando todos los frutos de cada unidad experimental, registrando los datos en kilogramos. Se realizaron 9 cortes en total, posteriormente se sumaron los pesos registrados de cada unidad experimental de los cuatro tratamientos para cada corte y así poder obtener el rendimiento total ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$).

3.6.3 Variables Fisiológicas

3.6.3.1 Fotosíntesis (F)

Para la evaluación de las variables fisiológicas: fotosíntesis y resistencia estomática, se realizaron las mediciones en dos fechas: 24 de agosto (111 ddt) y 23 de septiembre (141 ddt), para lo cual se seleccionó una hoja de la parte intermedia de una planta de cada una de las parcelas útiles de cada unidad experimental y se colocaba dentro de la cámara de gases del equipo. Las evaluaciones se llevaban a cabo al mediodía, tratando de que las condiciones ambientales no fluctuaran tanto y de que hubiera radiación solar al momento de su evaluación. Para las evaluaciones correspondientes se utilizó el equipo Portable Photosynthesis System Li-cor, modelo LI-6200 (PPS Li-cor). Una vez tomada la lectura, se almacenaba en su memoria y posteriormente se pasaban a la computadora para su ordenamiento y análisis de los datos registrados.

3.6.3.2 Resistencia estomática (Res)

Las mediciones se hicieron al mismo tiempo y con el mismo equipo con que se tomaron las lecturas de fotosíntesis, el equipo registra los datos simultáneamente, y los identifica de manera individual. Los resultados se reportan en $\mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para fotosíntesis y $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ para resistencia estomática.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variables de crecimiento y desarrollo (C y D)

4.1.1 Área foliar (AF)

Para esta variable; según el resultado del análisis estadístico; no mostró diferencias entre tratamientos, para ninguna de las cuatro fechas evaluadas. El comportamiento de los tratamientos fue muy variable, a los 62 ddt el tratamiento 3 tuvo la mayor cantidad área foliar, para los 84 y 107 ddt el tratamiento 2 fue superior y finalmente a los 127 ddt las plantas con más área foliar fueron las del tratamiento 4. Cabe destacar que el tratamiento 1 presentó la menor cantidad de área foliar en las mediciones hechas a los 84, 107 y 127 ddt (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de área foliar en el cultivo de pimienta morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Fórmula (kg·ha ⁻¹)			H ₂ SO ₄ (ml·m ⁻³)	Área foliar (cm ²) (ddt)			
	N	P	K		62	84	107	127
1	300	150	450	0	1661.5	2778.7	4918.2	3935.6
2	300	150	450	160	1567.8	4375.1	5561.4	4666.2
3	150	75	225	0	1768.5	4122.0	4805.5	5071.2
4	150	75	225	160	1557.5	3877.3	4960.0	6485.4
CV %					31.1	17.6	27.5	23.2
Tukey (p< 0.01)					1529.5	1984.9	4144.5	3627.3
Significancia					ns	ns	ns	ns

ns: no significativo

ddt: días después del transplante

4.1.2 Altura de planta (AP)

Para la variable altura de planta, la comparación de medias Tukey, $p < 0.01$ (Cuadro 4.2) muestra que todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales en las cuatro fechas evaluadas a los 62, 84, 107 y 127 ddt. En la ultima evaluación el tratamiento cuatro sin ácido registro mayor crecimiento con 53.6 cms en promedio, en comparación con el testigo con 48.4 cms.

Cuadro 4.2. Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de altura de planta en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Fórmula (kg·ha ⁻¹)				Altura de planta (cm) (ddt)			
				H ₂ SO ₄ (ml·m ⁻³)				
	N	P	K		62	84	107	127
1	300	150	450	0	30.0	44.0	45.6	48.4
2	300	150	450	160	28.3	41.8	46.6	52.8
3	150	75	225	0	29.4	42.1	44.3	51.9
4	150	75	225	160	29.0	41.3	45.3	53.6
CV %					13.9	6.8	7.5	8.9
Tukey ($p < 0.01$)					12.1	8.6	10.1	13.8
Significancia					ns	ns	ns	ns

ns: no significativo
ddt: días después del transplante

4.1.3 Diámetro del tallo (DT)

Para la variable diámetro del tallo, no mostró diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro 4.3), estadísticamente resultaron iguales en las fechas evaluadas a los 62, 84, 107 y 127 ddt. El comportamiento fue variable, presentándose en el tratamiento (300-150-450 sin ácido) un ligero incremento en el diámetro de tallo en la ultima evaluación.

Cuadro 4.3. Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de diámetro del tallo en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Fórmula			H ₂ SO ₄ (ml·m ⁻³)	Diámetro del tallo (cm)			
	(kg·ha ⁻¹)				(ddt)			
	N	P	K		62	84	107	127
1	300	150	450	0	1.0	1.4	1.6	2.0
2	300	150	450	160	1.2	1.6	1.7	1.6
3	150	75	225	0	1.0	1.4	1.5	1.6
4	150	75	225	160	1.0	1.4	1.6	1.7
CV %					19.9	7.7	14.9	13.4
Tukey (p< 0.01)					0.6	0.3	0.7	0.5
Significancia					ns	ns	ns	ns

ns: no significativo

ddt: días después del trasplante

4.1.4 Materia seca (MS)

El análisis de varianza no mostró diferencia significativa entre tratamientos para las variables evaluadas (peso seco de flor y fruto). A los 84 ddt en la variable fruto la comparación de medias mostró diferencia estadística, resultando la fórmula 300-150-450 sin ácido con mayor peso, seguido de 300-150-450 + ácido. En esta fecha el tratamiento 4 sin ácido presentó el menor peso, alcanzando solamente 11.9 g (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Valores obtenidos de la prueba de medias en las mediciones de peso seco flor y fruto en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Fórmula				H ₂ SO ₄ (ml·m ⁻³)	Peso seco flor (g)				Peso seco fruto (g)			
	(kg·ha ⁻¹)			ddt									
	N	P	K			62	84	107	127	62	84	107	127
1	300	150	450	0	0.8	0.8	0.7	0.7	7.0	38.6 a	19.4	15.2	
2	300	150	450	160	0.4	1.2	3.0	0.7	8.0	32.3ab	11.5	22.6	
3	150	75	225	0	0.4	1.4	0.7	0.7	10.0	25.0ab	28.6	14.4	
4	150	75	225	160	0.4	1.5	0.6	0.4	4.0	11.9 b	26.3	34.7	
CV %					12.6	15.7	18.2	14.8	21.2	27.7	34.5	38.7	
Tukey (p<0.01)					1.2	2.1	2.1	1.1	9.5	22.3	22.1	10.4	
Significancia					ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	

ns: no significativo

*: significativo

ddt: días después del transplante

Para las variables peso seco de hoja y tallo, resultaron estadísticamente iguales en las fechas evaluadas a los 62, 84, 107 y 127 ddt (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Valores obtenidos de la prueba de medias en las mediciones de peso seco hoja y tallo en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Fórmula				Peso seco hoja (g)				Peso seco tallo (g)			
	(kg·ha ⁻¹)			H ₂ SO ₄ ml·m ⁻³	ddt							
	N	P	K		62	84	107	127	62	84	107	127
1	300	150	450	0	9.1	19.6	35.4	29.5	4.6	16.5	30.3	24.5
2	300	150	450	160	8.9	27.1	33.8	28.7	6.0	19.4	28.9	22.6
3	150	75	225	0	9.6	24.3	27.6	27.3	6.3	18.5	24.6	22.2
4	150	75	225	160	9.1	21.3	30.0	39.9	5.7	16.2	24.6	28.2
CV %					27.5	16.8	29.0	25.1	15.8	19.8	33.9	32.9
Tukey (p< 0.01)					7.5	11.5	27.3	23.5	5.9	10.4	27.5	23.9
Significancia					ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns: no significativo

ddt: días después del transplante

De estos resultados se puede resaltar el hecho de que los cuatro tratamientos tuvieran un comportamiento muy similar, sin embargo en la suma total de peso seco el tratamiento 4 (150-75-225 + ácido) presentó 103.2 g, más de 30 g comparado con los otros 3 tratamientos (Cuadro 4.6).

Estos datos al analizarlos junto con el dato de área foliar muestran que todos los tratamientos presentaron plantas con un desarrollo muy similar.

Estos resultados, no coinciden con estudios realizados Ryan y Stroehlein (1979) en experimentos en suelos tratados con H₂SO₄ y, en donde se encontraron respuestas significativas en rendimiento de materia seca.

Cuadro 4.6. Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de peso seco total en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Fórmula			H ₂ SO ₄ (ml·m ⁻³)	Peso seco total (g)			
	(kg·ha ⁻¹)				ddt			
	N	P	K		62	84	107	127
1	300	150	450	0	21.4	75.6	85.8	70.0
2	300	150	450	160	23.3	80.0	77.1	68.2
3	150	75	225	0	26.2	69.1	81.1	66.6
4	150	75	225	160	19.1	50.9	81.0	103.2
CV %					22.3	12.9	26.9	26.3
Tukey (p<0.01)					14.9	26.0	63.5	60.0
Significancia					ns	ns	ns	ns

ns: no significativo
ddt: días después del transplante

4.2 Variables de rendimiento

4.2.1 Número de frutos por tratamiento (NFT)

Para la variable número de frutos por tratamiento, en el análisis de varianza al primer corte (Cuadro 4.7) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, la comparación de medias a una $p<0.01$ mostró que todos los tratamientos son iguales. El tratamiento donde las plantas tuvieron la mayor cantidad de frutos/tratamiento fue en las fórmulas 150-75-225 sin ácido y 300-150-450 + ácido con 97.5 y 92.3 frutos, respectivamente. Donde se encontró el menor número de frutos fue en la fórmula 150-75-225 + ácido con 39.8 frutos/tratamiento.

Los cortes realizados a los 104, 126 y 148 ddt mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Sobresaliendo el tratamiento 4 (150-75-225 + ácido con 174.8, 248.5 y 100.3 frutos/tratamiento en cada fecha, respectivamente. Es necesario destacar, que los tratamientos dos y tres son estadísticamente iguales; pero numéricamente son diferentes; resultando mejor la fórmula 300-150-450 + ácido con 148, 134.3 y 66.0 frutos/tratamiento.

El tratamiento 1 (300-150-450 sin ácido) que se tomo como testigo, produjo el menor número de frutos en las fechas evaluadas con 86.3, 49.0 y 20.3 frutos/tratamiento.

Cuadro 4.7. Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de número de frutos por tratamiento en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Formula			H ₂ SO ₄ ml·m ⁻³	Numero de frutos por tratamiento			
	(kg·ha ⁻¹)				ddt			
	N	P	K		82	104	126	148
1	300	150	450	0	70.8	86.3 b	49.0 b	20.3 b
2	300	150	450	160	92.3	148.0 ab	134.3 b	66.0 a
3	150	75	225	0	97.5	125.0 ab	96.0 b	63.3 a
4	150	75	225	160	39.8	174.8 a	248.5 a	100.3 a
CV %					31.1	18.9	23.4	22.1
Tukey (p<0.01)					69.5	75.1	93.0	41.2
Significancia					ns	*	*	*

ns: no significativo

*: significativo

ddt: días después del trasplante

4.2.2 Rezaga (Re)

En lo que respecta a la variable rezaga (Cuadro 4.8), en la prueba de medias, en el primer muestreo no mostró diferencia significativa, pero se puede observar que en los últimos tres cortes si hubo diferencia significativa entre los tratamientos.

El tratamiento 1 (300-150-450 sin ácido) es donde se obtuvo mayor porcentaje de frutos de rezaga con 56.3, 66.9 y 40.9 por corte, al hacer una comparación con área foliar, precisamente este mismo tratamiento fue donde se tuvo el menor índice foliar, y con lo cual se propició el manchado por desecación en frutos debido a su exposición directa a insolación.

Cuadro 4.8. Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de rezaga en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Fórmula			H ₂ SO ₄ (ml·m ⁻³)	Rezaga (%)			
	(kg·ha ⁻¹)				ddt			
	N	P	K		82	104	126	148
1	300	150	450	0	20.4	56.3 a	66.9 a	40.9 a
2	300	150	450	160	19.9	14.5 b	30.0 b	10.5 b
3	150	75	225	0	20.5	23.3 b	48.8 a	13.2 b
4	150	75	225	160	36.7	9.4 b	20.9 b	10.6 b
CV %					24.3	32.9	15.1	16.8
Tukey (p< 0.01)					35.1	25.4	18.7	26.0
Significancia					ns	*	*	*

ns: no significativo

*: significativo

ddt: días después del trasplante

4.2.3 Peso del fruto (PF)

Al analizar estadísticamente los resultados, no se encontró para esta variable diferencia estadística entre tratamientos (Cuadro 4.9) a los 82 y 104 ddt.

A los 126 ddt, hubo diferencia estadística entre tratamientos, mientras que la comparación de medias mostró tres de los cuatro tratamientos iguales. Esto nos indica que dichos tratamientos tuvieron similitud en sus valores medios. El mayor peso se obtuvo con el tratamiento 4 (150-75-225 + ácido) con 39.5 kg / tratamientos.

A los 148 ddt, se encontró diferencia altamente significativa entre tratamientos. El tratamiento cuatro registró el mayor peso con 11.3 kg / tratamiento.

Cuadro 4.9. Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de peso del fruto en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Fórmula			H ₂ SO ₄	Peso del fruto (kg)			
	(kg·ha ⁻¹)				ddt			
	N	P	K			82	104	126
				(ml·m ⁻³)				

1	300	150	450	0	11.6	18.1	18.6 b	2.1 c
2	300	150	450	160	15.0	21.5	21.6 b	5.8 bc
3	150	75	225	0	16.9	19.2	19.3 b	7.5 ab
4	150	75	225	160	7.3	25.0	39.5 a	11.3 a
CV %					29.6	12.4	14.9	25.1
Tukey ($p < 0.01$)					11.2	7.7	11.0	5.0
Significancia					ns	ns	*	**

ns: no significativo

*: significativo

**: altamente significativo

ddt: días después de transplante

4.2.4 Rendimiento por tratamiento (RpT)

El análisis estadístico, no mostró diferencia significativa entre los tratamientos en el primer corte realizado a los 58 ddt, como se indica en la (Cuadro 4.10), destacando la fórmula 300-150-450 + ácido con $1.9 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$.

A los 71 ddt mostró diferencias significativas entre los tratamientos, resultando mejor el tratamiento tres con un rendimiento de $2.3 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Los cortes realizados a los 82, 92, 104 y 113 ddt, no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, es decir estadísticamente resultaron iguales. Pero numéricamente diferentes. El comportamiento fue variable en las fechas evaluadas.

A los 126 ddt se encontró diferencia estadística entre los tratamientos. El tratamiento 4 registró mayor rendimiento con $12.8 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ en comparación con el testigo con $6.0 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$.

En los dos últimos cortes, realizados a los 138 y 148 ddt, resultaron altamente significativo. Entre los tratamientos, la fórmula 150-75-225 + ácido tuvo mayor rendimiento por tratamiento en promedio de 5.5 y $3.7 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ respectivamente. En la figura 4.1, se muestra gráficamente el comportamiento general de los tratamientos en los nueve cortes realizados.

Cuadro 4.10. Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de rendimiento por tratamiento en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Rendimiento por tratamiento (ton·ha ⁻¹)								
	ddt								
	58	71	82	92	104	113	126	138	148
T1	1.2	2.0 ab	3.7	8.2	5.9	4.8	6.0 b	0.8 c	0.7 c
T2	1.9	2.0 ab	4.9	6.0	6.9	4.6	7.0 b	3.5 b	1.9 bc
T3	1.8	2.3 a	5.5	7.1	6.2	5.4	6.2 b	3.1 b	2.4 ab
T4	1.7	0.9 b	2.4	4.6	8.1	4.1	12.8 a	5.5 a	3.7 a
CV %	30.8	21.5	29.6	19.7	12.4	15.2	14.9	17.5	25.4
Tukey (p<0.01)	4.5	1.2	3.6	3.8	2.5	6.5	3.6	1.7	1.6
Significancia	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	**	**

ns : no significativo

*: significativo

**: altamente significativo

ddt: días después del transplante

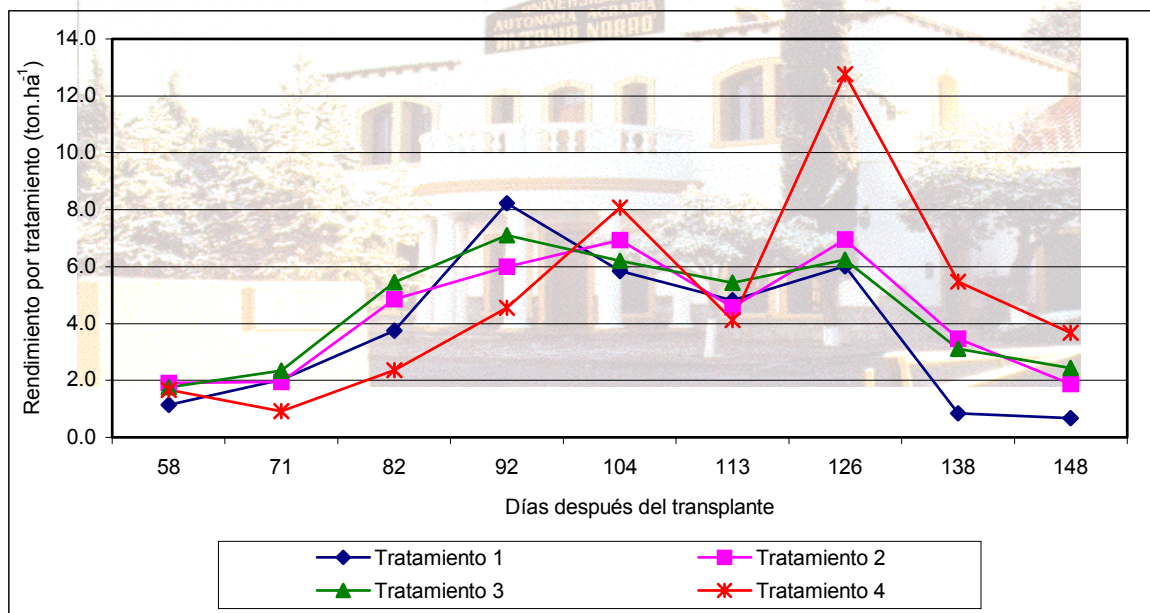


Fig.

4.1. Rendimiento por tratamiento en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

4.2.5 Rendimiento acumulado (RA)

El análisis de varianza no mostró diferencia significativa entre los tratamientos, para esta variable en los tres primeros cortes (58, 71 y 82 ddt), como se puede ver en el (Cuadro 4.11).

A los 92 ddt resulto significativo entre los tratamientos. Estadísticamente resultaron iguales los tratamientos 1, 2 y 3. Numéricamente la fórmula (150-75-225 sin ácido) fue mejor con un rendimiento promedio de 16.7 ton·ha⁻¹. A los 104 ddt, el análisis estadístico resultó no significativo, sin embargo numéricamente el tratamiento 3 fue mejor con 22.9 ton·ha⁻¹.

A los 113 ddt la prueba de medias con Tukey $p>0.01$ mostró significancia entre los tratamientos. El tratamiento (150-75-225 sin ácido) produjo mayor rendimiento con 28.3 ton·ha⁻¹. Los dos últimos cortes mostraron diferencias significativas, en donde los tratamientos, con la fórmula 150-75-225 + ácido y 150-75-225 sin ácido se obtuvo mayor rendimiento acumulado con 43.6 y 40.1 ton·ha⁻¹. Es importante destacar que estos dos tratamientos resultaron muy superiores al testigo alcanzando solo un rendimiento de 33.4 ton·ha⁻¹ un (23.6% menos). En la figura 4.2 muestra el rendimiento acumulado durante nueve fechas evaluadas.

Estos resultados coinciden con Avalos (1986) al probar el efecto del azufre y del ácido sulfúrico sobre la disponibilidad de fósforo y producción del tomate en el Valle de Culiacán. Con el uso del ácido sulfúrico, se logró aumentar la producción total de tomate y también mejoró la calidad en cuanto el tamaño de fruto.

Lee *et al*, (1998) al estudiar el efecto de soluciones fertilizantes acidificantes aplicado en el agua de riego y también en el suelo (con tres niveles de H₂SO₄); obtuvieron mejor producción de sorgo y trigo, además de corregir el problema de la clorosis férrica en el cultivo de sorgo.

Cuadro 4.11. Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de rendimiento acumulado en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Rendimiento acumulado (ton·ha ⁻¹)								
	ddt								
	58	71	82	92	104	113	126	138	148
T1	1.2	3.2	6.9	15.2 a	21.0	25.8 a	31.9	32.7 b	33.4 b

T2	1.9	3.9	8.7	14.8 a	21.8	26.3 a	33.3	36.8 a	38.7 a
T3	1.8	4.1	9.6	16.7 a	22.9	28.3 a	34.6	37.7 a	40.1 a
T4	1.7	2.6	5.0	9.5 b	17.6	21.8 b	34.5	40.0 a	43.6 a
CV %	30.8	20.2	21.0	15.6	9.0	6.4	4.7	4.4	4.9
Tukey (p<0.01)	4.5	2.1	4.7	6.5	5.6	4.9	14.1	4.8	5.7
Significancia	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	*

ns: no significativo

*: significativo

ddt: días después de trasplante

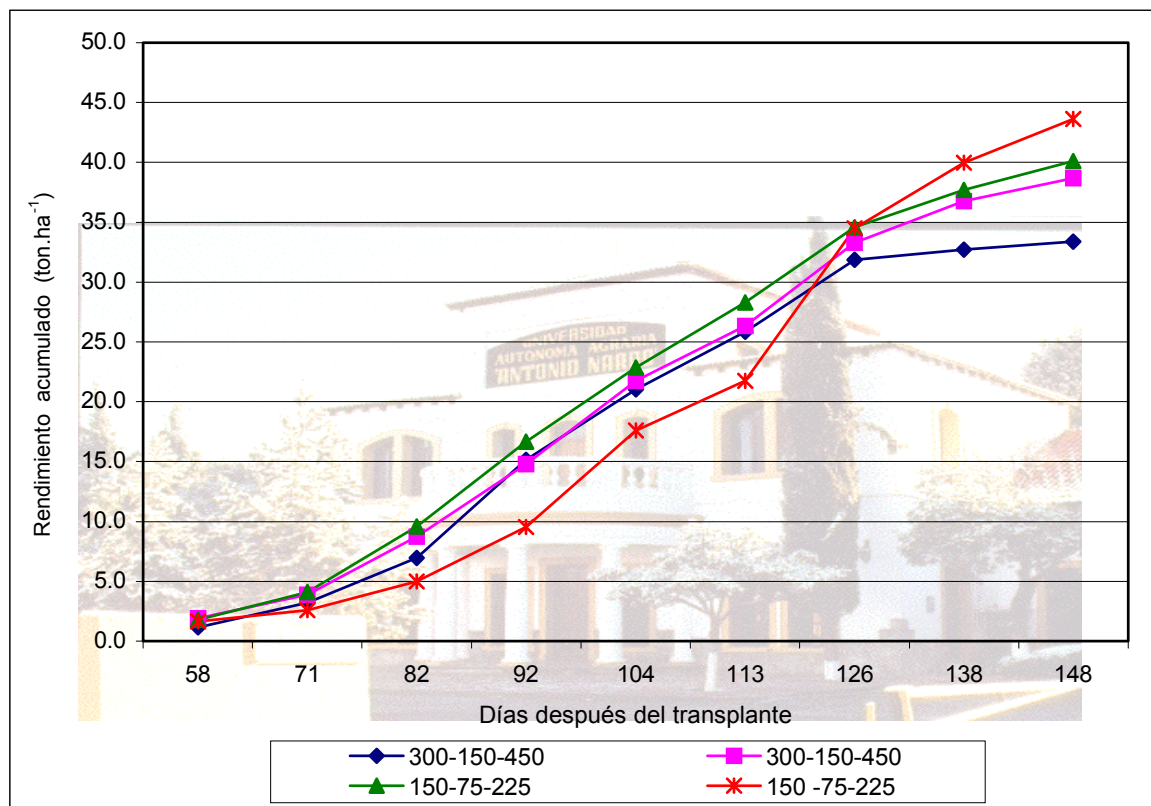


Fig.

4.2. Rendimiento acumulado en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

4.3 Variables fisiológicas

4.3.1 Fotosíntesis (F)

El análisis de varianza de los resultados obtenidos para la variable en dos fechas 111 y 140 ddt, no mostró diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro 4.12). Numéricamente sobresalen los tratamientos 4 y 2 con 21.28 y 23.42 ($\mu \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$), respectivamente. En el segundo muestreo se observa un ligero incremento en los

tratamientos 1, 2 y 3 mientras que en el testigo tuvo un decremento de $4.7 (\mu \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$. Una posible explicación es que las plantas presentaban mayor envejecimiento en comparación con los otros tratamientos.

Cuadro 4.12. Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de fotosíntesis en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Fórmula ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)			H_2SO_4 ($\text{ml} \cdot \text{m}^{-3}$)	Fotosíntesis ($\mu \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	
	N	P	K		ddt	
1	300	150	450	0	15.8	11.1
2	300	150	450	160	15.2	23.4
3	150	75	225	0	19.5	20.4
4	150	75	225	160	21.3	22.2
CV %					30.5	38.5
Tukey ($p < 0.01$)					16.3	22.1
Significancia					ns	ns

ns: no significativo

ddt: días después del transplante

4.3.2 Resistencia estomática (Res)

Al analizar estadísticamente los datos de esta variable se tuvo que, a los 111 y 140 ddt no hubo diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 4.13).

Cuadro 4.13. Valores obtenidos de la prueba de medias en la medición de resistencia estomática en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter, con acolchado plástico y fertirrigación (con y sin ácido) en dos soluciones nutritivas.

Tratamiento	Fórmula ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)			H_2SO_4 ($\text{ml} \cdot \text{m}^{-3}$)	Resistencia estomática (s cm^{-1})	
	N	P	K		ddt	
1	300	150	450	0	0.6	2.2
2	300	150	450	160	0.6	1.4
3	150	75	225	0	0.6	1.3
4	150	75	225	160	0.5	1.3
CV %					38.9	25.7
Tukey ($p < 0.01$)					0.7	1.2
Significancia					ns	ns

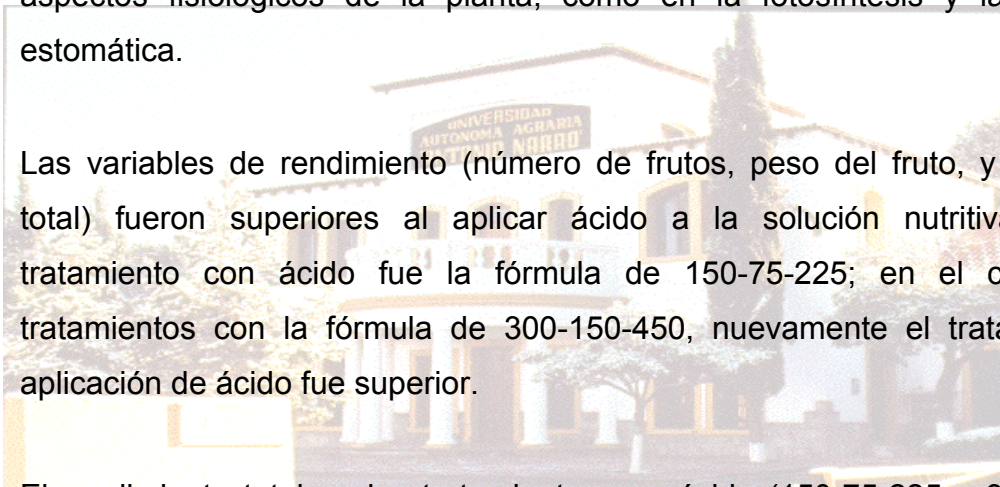
ns: no significativo

ddt: días después del transplante

CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones ambientales y manejo del cultivo y respuesta de chile pimiento morrón evaluado, se tiene las siguientes conclusiones:

- El uso de soluciones nutritivas y acidificación en el agua de riego, no influyó en los parámetros morfológicos de crecimiento, desarrollo y materia seca en el cultivo de pimiento morrón var. Júpiter.
- La acidificación de la solución nutritiva no mostró efectos positivos sobre aspectos fisiológicos de la planta, como en la fotosíntesis y la resistencia estomática.
- Las variables de rendimiento (número de frutos, peso del fruto, y rendimiento total) fueron superiores al aplicar ácido a la solución nutritiva; el mejor tratamiento con ácido fue la fórmula de 150-75-225; en el caso de los tratamientos con la fórmula de 300-150-450, nuevamente el tratamiento con aplicación de ácido fue superior.
- El rendimiento total en los tratamientos con ácido (150-75-225 y 300-225-450) fue de 43.6 y 38.7 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente; mientras los tratamientos sin ácido (150-75-225 y 300-225-450) tuvieron un rendimiento promedio de 40.1 el primero y 33.4 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el segundo.
- Los tratamientos a los que se le aplicó ácido tuvieron pH promedio de 6.25 en comparación a los tratamientos sin ácido que se mantuvieron en 7.48.
- Con excepción de la variable de rendimiento que si mostró diferencia estadística, el resto de las variables fisiológicas y fenológicas evaluadas no mostraron diferencia al ser analizadas estadísticamente, esta situación pudiera atribuirse a



una mayor eficiencia en la distribución de los nutrimentos para el desarrollo de los frutos al aplicar soluciones nutritivas con ácido, sin embargo esto tendría que ser analizado más profundamente en futuras investigaciones.



BIBLIOGRAFÍA

Avalos M. J. 1986. Efecto del azufre y del ácido sulfúrico sobre la disponibilidad del fósforo y producción del tomate en el Valle de Culiacán, Sinaloa. Tesis de Maestría en Ciencias en la Especialidad de Suelos. UAAAN. Saltillo, Coahuila. México. pp. 23-25.

Alarcón, A. L. y Egea, C. 1999. Fertirrigación en plántulas y semilleros. En: Anna Villarnau y Jerónimo González (coord.) Plántulas. Compendio de Horticultura 13. Ediciones de Horticultura, S. L. Barcelona, España. pp. 69-81.

Bastida, T. A. y Ramírez A. J. A. 1999. Invernaderos en México. Diseño, Construcción y Manejo. Serie de publicaciones Agribot No. 5. Chapingo, México. pp. 2-4.

Bravo, L. A. G. y Echavarría, C. F. 2003. Aplicación de fertilizantes nitrógeno, fósforo y potasio en fertirriego en ajos (*allium sativum* L.). XII Congreso Nacional de Irrigación. 13-15 de Agosto de 2003. Zacatecas, Zacatecas, México. p. 2.

Burgueño C. J. H. 1982. Comportamiento del pimiento var. Yolo Wonder (*Capsicum annuum* L.) var. grossum Sendt, bajo acolchado con películas de plástico. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. México. pp. 5-10.

Cadahía, L. C. 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 67.

Callejas, H. P. 1988. Efecto del acolchado de suelos en tres ambientes diferentes, y del acolchado con dos sistemas de plantación en calabacita (*Cucúrbita pepo* L.) var. Tala (F1). Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. México. pp. 53-54.

Claridades Agropecuarias. 1998. El chile verde y su trascendencia cultural. Organo de Difusión de Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA). Publicación periódica. Ed. Abriendo Surcos. Revista No. 56 México, D. F. p 1-4.

Clement, L. 1978. Sulfur increases availability of phosphorus in calcareous soils. Sulphur in Agriculture (a publication of the Sulphur Institute). Washington, U.S.A. Vol. 2. pp. 9-12.

Fuentes, Y. J. L. 1998. Técnicas de riego. 3ª edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. pp. 343-360.

George, R. A. T. 1989. Producción de semillas de plantas hortícolas Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. p. 234.

Howard, M. R. 1997. Cultivos hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción. Mundi-Prensa. España. pp. 39-40.

Jaquez, A. D., Escobar Á. M. A, Peña P. E., Ramírez C. C. E. 1978. La Computación Electrónica en el Diseño de Unidades de Riego por Goteo. Memorias Tomo 1. II Seminario Nacional Sobre Riego por Goteo. Del 17 al 21 de julio. CENEMAR, Región Lagunera (Coah. y Durango). México p. 79.

Janick, J. 1965. Horticultura Científica e Industrial. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 56-65.

Lamas, N. M. A. 2003. Perspectivas de la Red de Chile. Dirección de Análisis de Cadenas Productivas y Servicios Técnicos Especializados. Folleto Técnico FIRA. México. D. F. pp. 2-6.

Lee, R. V, M., J. Beltrán F., J. N. Lerma, M., L. P. Licón T. 1998. Aplicación de Ácido Sulfúrico en el Riego Corrige la Clorosis Férrica de los Cultivos en Suelos Calcáreos. Revista Terra Volumen 16 Número 2. Chapingo, México. pp. 149-161.

Maeda, M. C. 1988. Memorias del curso. Uso de las películas de plástico como arropado del suelo para la producción agrícola. SARH-PRONAPA. Gómez Palacio, Durango. México. pp 41-43.

Medina, S. J. J. A. 2000. Riego por Goteo. Teoría y Práctica. 4ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona, España. pp. 13-16.

Mendoza, M. S. F., Sánchez C. I., Macias R. H., Martínez S. J. 2002. Producción de sandía con riego localizado tipo cintilla y acolchado plástico. CENID-RASPA Folleto para productores No. 1. Gómez Palacio, Durango. México. p 6.

Miyamoto, S., R. J. Prather, J. L. Stroehlein, 1975. Sulfuric acid for controlling calcite precipitation. Arizona Agricultural Experiment Station. Soil Science. Vol. 120. Tucson, Arizona, U.S.A. pp. 264-271.

Munguía, L. P. J. 1985. El acolchado de suelos y la práctica del riego en el cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) var. Viroflay. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. México. pp. 24-27.

Muñoz, R., J. J. 2003. El cultivo del pimiento en invernadero. En: Muñoz R., J.J. y J. Z. Castellanos. 2003. Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México. pp 264-269.

Muñoz, R., J. J. 2003. Formulación de la solución. En: Muñoz R., J.J. y J. Z. Castellanos. 2003. Manual de producción hortícola en invernadero. INCAPA. México. pp 157-186.

Navarro, G. M. 2002. Nutrición Vegetal Balanceada y Riego por Goteo en Cultivos Hortícolas. 2º Simposio Nacional de Horticultura, Conferencias y Cursos sobre Nutrición de Cultivos Hortícolas. Memorias 7 al 11 de octubre. Saltillo, Coahuila. México. p. 10.

Nuez, F., Ortega G. R., Acosta J. 1996. El cultivo de Pimientos, Chiles y Ajies. Mundi-Prensa. Barcelona, España. p. 39.

Potisek, T. M. C., Román, L. A., Mendoza, M. S. F. 2003. Productividad del agua y extracción de nutrientes en sandía bajo riego por goteo-cintilla y acolchado. XII Congreso Nacional de Irrigación. 13-15 de Agosto. Zacatecas, Zacatecas. México. p. 2.

Laborde, C. J. A. y Pozo C. O. 1982. Presente y Pasado del Chile en México. SARH-INIA. México, D. F. pp 48-50.

Rodríguez, J. L. 2001. Análisis de la producción de chiles y pimientos. Revista Productores de Hortalizas. Publicaciones periódicas, julio. Año 10, No. 7. México, D. F. pp. 40-46.

Rodríguez, D. E. 2004. Seminario Internacional de Fertirriego. Problemática en el manejo del fertirriego (calidad del agua y fertilizantes). VI Congreso Iberoamericano para el Desarrollo y Aplicación de Plásticos en Agricultura. CIDAPA. Bogotá, Colombia. pp. 36-38

Romero, F. E. y Maeda M. C. 1988. Memorias del curso. Uso de las películas de plástico como arropado del suelo para la producción agrícola. SARH-PRONAPA. Gómez Palacio, Durango. México. pp 7-8.

Ryan, J., J. L Stroehlein. 1973. Use of sulfuric acid on phosphorus deficient Arizona soils. Progressive Agriculture in Arizona. College of Agriculture, University of Arizona. Vol. 25. No. 6 Tucson, Arizona. U.S.A. pp. 11-13.

Ryan, J., J. L. Stroehlein. 1979. Sulfuric acid treatment of calcareous soils: Effects on phosphorus solubility, inorganic phosphorus forms, and plant growth. Soil Science Society of America Journal. U.S.A. Vol. 43. pp. 731-735.

Sanabria, H. 2004. Los Micronutrientes y los Quelatos como Fertilizantes. Revista Productores de Hortalizas. Publicaciones periódicas, enero. Año 13, No. 1. México, D. F. pp. 61-62.

Sánchez, G. A. 1970. El pimiento, Economía-Producción-Comercialización. Acribia. Zaragoza, España. pp 49, 65.

Santiago, J. 2000. Manejo Integral de Formulaciones. Revista Productores de Hortalizas. Publicación Periódica, septiembre. Año 9, No.9. México, D. F. pp. 10-14.

Serrano, C. Z. 1990. Cultivo de hortalizas en Invernaderos. Aedos. Barcelona, España. p. 254.

Siller, C. J. H. 2003. Situación Actual de la Industria Hortofrutícola en México. 3º Simposio de Producción, Comercialización y Exportación de Cultivos Hortícolas. Memorias. 8 al 10 de octubre. Saltillo, Coahuila. México. p. 10.

Stroehlein, J. L., S. Miyamoto J. Ryan. 1978. Sulfuric acid for improving irrigation waters and reclaiming sodic soils. University of Arizona. Technical Bulletins Tucson Arizona. U.S.A. Vol. 78. p. 5.

T-Tape. 2002. Introducción al riego por goteo. Folleto Técnico. San Diego California. U.S.A. p. 1.

Urbano, T. P. 1999. Tratado de fitotecnia general. 2ª edición. Ed. Mundi-Prensa. España. pp 311-313.

Valadez, L. A. 1990. Producción de Hortalizas. Ed. Limusa 1ª reimpresión México. pp 186-187.

Vilmorín, D. F. 1977. El cultivo del pimiento dulce tipo Bell. Ed. Diana. México. pp 17-34.

