

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE TRES HÍBRIDOS DE CHILE
SERRANO (*Capsicum annuum* L.) BAJO DOS LÁMINAS DE RIEGO Y
DIFERENTE COLOCACIÓN DE CINTILLA**

POR:

ENRIQUE MIGUEL VALLE

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2013.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE TRES HÍBRIDOS DE CHILE
SERRANO (*Capsicum annuum* L.) BAJO DOS LÁMINAS DE RIEGO Y
DIFERENTE COLOCACIÓN DE CINTILLA

TESIS PRESENTADA POR:

ENRIQUE MIGUEL VALLE

ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE
ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

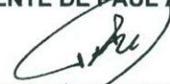
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:


PH.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

ASESOR:


MC. GERARDO DELGADO RAMÍREZ

ASESOR:


MC. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ

ASESOR:


MC. FEDERICO VEGA SOTELO



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE TRES HÍBRIDOS DE CHILE
SERRANO (*Capsicum annuum* L.) BAJO DOS LÁMINAS DE RIEGO Y
DIFERENTE COLOCACIÓN DE CINTILLA

TESIS PRESENTADA POR:

ENRIQUE MIGUEL VALLE

ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE
ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL EXTERNO:



MC. GERARDO DELGADO RAMÍREZ



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE TRES HÍBRIDOS DE CHILE SERRANO (*Capsicum annuum* L.) BAJO DOS LÁMINAS DE RIEGO Y DIFERENTE COLOCACIÓN DE CINTILLA.

TESIS PRESENTADA POR:

ENRIQUE MIGUEL VALLE

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

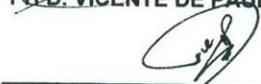
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

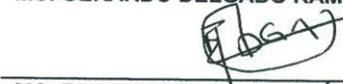
PRESIDENTE:


PH.D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

VOCAL:


MC. GERARDO DELGADO RAMÍREZ

VOCAL:


MC. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ

VOCAL:


MC. FEDERICO VEGA SOTELO


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2013

AGRADECIMIENTOS

A **dios** por darme la oportunidad de vivir y poder ser alguien en la vida.

Con mucho cariño a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí.

A mi **esposa** por todo su apoyo y comprensión durante mi formación académica.

A mis hermanas y cuñados por sus consejos y ánimos de seguir adelante.

A mis maestros por brindarme su paciencia, conocimiento y su confianza.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme permitido entrar en ella y haber cimentado en mí los conocimientos de esta noble profesión.

A mis suegros por todo su apoyo que me brindaron para poder seguir con mi formación académica.

A mis amigos por permitirme vivir gratos momentos durante nuestra formación

Al mc. Gerardo Delgado Ramírez por brindarme su confianza, paciencia y apoyo en la realización de este trabajo.

Al Phd. Vicente de Paul Álvarez Reyna por su confianza, apoyo y así mismo por ayudarme con la realización de este trabajo y a mi formación académica.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera participaron en el desarrollo de esta tesis.

DEDICATORIAS

A mis padres Enrique Miguel Ramos y Micaela Valle Ramírez por darme la vida y haber estado en todo momento durante mi formación académica, gracias por su confianza y amor.

A mi esposa Raquel López Rodríguez por estar conmigo en todos los momentos buenos y malos que tuve en mi formación académica así mismo por haberme regalado la alegría de tener a nuestra hija Zoe Alejandra Miguel López.

A mis hermanas María de los Ángeles q.e.p.d. y Aidé por sus consejos y apoyo recibidos de su parte.

A mis abuelos y padrinos por el gran cariño, apoyo y consejos que me brindaron siempre.

No me puedo ir sin antes decirles que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, gracias por haber llegado a mi vida y compartir momentos agradables y tristes, los quiero.

ÍNDICE GENERAL

I. RESUMEN.....	vii
II. INTRODUCCIÓN.....	1
III. OBJETIVO.....	3
IV. HIPÓTESIS.....	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 Generalidades del cultivo de chile serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	4
4.1.1 Producción mundial del chile serrano.....	4
4.1.2 Producción de chile serrano en México.....	5
4.1.3 Importancia económica y comercialización.....	5
4.2 Información del cultivo de chile serrano.....	6
4.2.1 Origen.....	6
4.2.2 Composición química.....	6
4.2.3 Características del chile serrano.....	7
4.2.3.1 Tallo.....	8
4.2.3.2 Hoja.....	8
4.2.3.4 Fruto.....	8
4.2.3.4 Semillas.....	9
4.2.4 Clima.....	9
4.2.4.1 Temperatura.....	9
4.2.4.2 Humedad Relativa.....	9
4.2.5. Suelo y Fertilización.....	10
4.2.6 Velocidad de Infiltración del suelo.....	11
1) Método de infiltrómetro de doble cilindro.....	12
2) Método de entradas y salidas (en surcos).....	14
4.2.7. Época de siembra.....	14
4.2.7.1 Siembra directa.....	15
4.2.7.2 Trasplante de plántulas.....	15
4.2.8. Principales plagas y enfermedades del cultivo de chile serrano.....	15
4.2.8.1 Plagas.....	15
Minador de la hoja (<i>Liriomyza sp</i>).....	15
Mosquita blanca (<i>Bemisia tabaci</i>).....	16
Gusano soldado (<i>Spodoptera exigua</i>).....	17
Ácaros o Araña Roja (<i>Poliphagotarsonemus latus</i>).....	17

4.2.8.2 Enfermedades.	18
Damping off o secadera de plántulas.....	18
Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>).....	19
Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i>).	19
Marchitez o secadera tardía (<i>Phytophthora capsici</i>).....	20
4.2.9. Cosecha del chile serrano.....	21
4.3 Necesidades hídricas del cultivo de chile serrano.....	21
4.3.1 Evapotranspiración.....	21
4.3.1.1 Evapotranspiración de referencia (Eto).	22
Método Penman.	22
Método Penman – Monteith.....	22
Método Blaney – Criddle.....	23
Método de Hargreaves.....	24
Hargreaves modificado.....	25
Método Tanque Evaporímetro.....	26
4.3.1.2 Evapotranspiración máxima o estándar (<i>ETc</i>).	27
Coeficiente de cultivo (Kc).	27
4.3.1.3. Evapotranspiración real o no estándar (<i>Etr</i>).....	29
4.3.2 Intervalo de riego o frecuencia de riego.....	29
4.3.3 Lámina de riego neta.	29
4.3.4. Lámina de riego bruta.....	32
4.4 Tecnificación del riego en cultivares de chile serrano.	33
4.4.1 Sistema de riego por gravedad.	33
4.4.2 Sistema de riego por goteo o cintilla.	33
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.	35
5.1 Localización y características del área de estudio.	35
5.2 Metodología.....	35
5.2.1 Diseño Experimental.....	35
5.2.2 Producción de plántula de chile serrano.....	37
5.2.3 Preparación del terreno.	37
5.2.4 Muestreo de suelo.....	37
5.2.5 Diseño e instalación del sistema de riego por goteo con cintilla.....	38
5.2.6 Trasplante de plántula de chile serrano.....	41
5.2.7 Programación del Riego.....	42

5.2.8 Fertilización del cultivo de chile serrano.	42
5.2.9 Control fitosanitario del cultivo de chile serrano.	42
5.2.10 Cosecha del chile serrano.	43
5.2.11 Análisis estadístico de las variables respuesta.	43
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	46
6.1 Rendimiento de fruto en verde.	46
6.2 Eficiencia en uso de agua (EUA) del chile serrano.	48
6.3 Calidad del fruto.	49
6.3.1 Longitud de fruto.	49
6.3.2 Ancho de fruto.	51
6.3.3 Peso de fruto.	52
VIII. CONCLUSIÓN.	54
VI.- LITERATURA CITADA.	55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química/100g	7
Cuadro 2. Concentración de elementos nutritivos requeridos por el cultivo de chile serrano en unidades partes por millón (ppm).....	11
Cuadro 3. Clasificación de la magnitud de infiltración en suelos agrícolas.	13
Cuadro 4. Agua disponible (<i>Ad</i>) para varias texturas de suelo.	32
Cuadro 5. Lista de tratamientos con la combinación de los híbridos de chile serrano, láminas de riego y colocación de la cintilla.....	36
Cuadro 6. Coeficiente de rugosidad de Manning (<i>n</i>) de algunos materiales.....	40
Cuadro 7. Rendimiento de fruto en verde (ton.ha ⁻¹) de tres híbridos de chile serrano bajo dos niveles de riego y diferente colocación de cintilla.....	47
Cuadro 8. Eficiencia en uso de agua (kg.m ⁻³) de tres híbridos de chile serrano bajo dos niveles de riego y diferente colocación de cintilla.	48
Cuadro 9. Longitud de fruto (cm) de tres híbridos de chile serrano bajo dos niveles de riego y diferente colocación de cintilla.	50
Cuadro 10. Ancho de fruto (cm) de tres híbridos de chile serrano bajo dos niveles de riego y diferente colocación de cintilla.	51
Cuadro 11. Peso de fruto (gr) de tres híbridos de chile serrano bajo dos niveles de riego y diferente colocación de cintilla.	52

I. RESUMEN

El presente estudio se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera (CENID – RASPA), ubicado en el municipio de Gómez Palacio, Durango. Se evaluaron tres híbridos de chile serrano (Camino Real F1, Montero y Arista F1) mediante dos factores: láminas de riego y colocación de la cintilla, con la finalidad de estudiar su efecto o influencia en rendimiento y calidad de fruto. En ambos factores se establecieron dos niveles de estudio, el primer factor considera un nivel alto de riego, al calcular una lámina al 100% de la evapotranspiración y el nivel bajo contempla solamente el 85%. Con respecto al segundo factor, la colocación de la cintilla de forma superficial fue el nivel alto y el nivel bajo se asignó a la colocación de forma subsuperficial de la cintilla, a una profundidad de 25 cm.

El experimento se estableció bajo un diseño experimental bloques completamente al azar con arreglo de tratamiento trifactorial ($2^2 \times 3$) con cuatro bloques o repeticiones. Con la combinación de factores y sus respectivos niveles se conformaron 12 tratamientos. Los factores de estudio (híbridos, riego y colocación de cintilla) influyeron en el rendimiento y calidad de fruto del chile serrano. El tratamiento conformado por el híbrido Arista F1, nivel de riego alto y colocación de cintilla de forma subsuperficial fue el que presentó los mejores promedio de las variables antes mencionadas.

En base a los resultados obtenidos en el estudio, es factible establecer en la región el híbrido Arista F1, programando el riego al 100% de su evapotranspiración y colocar la cintilla de forma subsuperficial con el propósito de incrementar la productividad y rentabilidad del cultivo, y sobre todo la eficiencia en el uso del agua de riego.

Palabras clave: híbridos, rendimiento, calidad de fruto, factores, Arista F1.

II. INTRODUCCIÓN.

En los últimos años, el chile serrano ha tenido un incremento considerable en su consumo a nivel mundial, específicamente en la Unión Europea y Estados Unidos. Este incremento se debe a la gran cantidad de inmigrantes que lo demandan. Actualmente, se siembran alrededor de 1.72 millones de hectáreas a nivel mundial, en el que China es el país que presenta una mayor participación en la producción de chile verde con una superficie sembrada de 619,200 hectáreas, la cual representa un 36% de la superficie sembrada mundialmente. Su producción es de 12.5 millones de toneladas, más de la mitad de la producción mundial de chile verde al año (FAO, 2008).

En México existe una extensa diversidad genética de chile verde con alrededor de 40 variedades. Sin embargo, no es el productor más importante, ya que produce un 6.5 por ciento de la producción mundial (SIAP, 2010). En el año 2010 se sembraron aproximadamente 148,759 hectáreas de chile serrano, teniendo un rendimiento promedio de 6.3 toneladas por hectárea en agricultura de temporal y 24.2 toneladas por hectárea bajo riego. Los estados que reportaron los mayores rendimientos a nivel nacional fueron: Sinaloa, Tamaulipas, Nuevo León y Colima con rendimientos promedios que oscilan de 32 a 40 toneladas por hectárea. El estado de Coahuila registró un rendimiento promedio de 26.7 toneladas por hectárea, siendo la Región Lagunera con la mayor superficie sembrada de chile serrano (Financiera Rural, 2010).

Los altos rendimientos de producción de chile serrano alcanzados por los estados líderes, fueron posibles por el uso de alta tecnología de producción, como: avanzados sistemas de riego (en específico el riego por goteo con cintilla), y sobre todo a la producción en invernadero (Delgado, 2012). Aunque, este último presenta alto costo de inversión y manejo, por consiguiente se incrementa costo de producción y por ende baja la rentabilidad del cultivo. Aunado a esto, la tecnología no está al alcance para la mayoría de los productores de chile serrano. Por tal motivo, los productores no han adoptado esta tecnología y siguen sembrando a campo abierto.

En base a lo anterior, existe la necesidad de tener información acerca de materiales o híbridos que sean apropiados para cada región, así como el consumo de agua requerido durante su ciclo vegetativo desde el trasplante hasta la etapa de producción. Por ello, es conveniente considerar los siguientes factores: clima, suelo, disponibilidad, calidad de agua, disponibilidad y manejo del sistema de riego, etc., con el objeto de garantizar un rendimiento potencial del cultivo y que incremente su rentabilidad, el cual pueda ser de beneficio para los productores que siembran a campo abierto.

Este trabajo tiene como finalidad de evaluar tres materiales de chile serrano con respecto a rendimiento y calidad del fruto (peso, longitud y ancho de fruto), bajo la aplicación de dos niveles de riego y diferente colocación de cintilla.

III. OBJETIVO.

Evaluar el rendimiento en verde y calidad del fruto de tres Híbridos de chile serrano, dos láminas de riego y diferente colocación de la cintilla:

IV. HIPÓTESIS.

Los tres Híbridos de chile serrano tienen similitud en rendimiento y calidad del fruto, bajo la aplicación de dos láminas de riego y diferente colocación de cintilla.

V. REVISIÓN DE LITERATURA.

4.1 Generalidades del cultivo de chile serrano (*Capsicum annuum* L.).

4.1.1 Producción mundial del chile serrano.

El chile es una especie que ha tenido considerable aumento de consumo en los últimos años, en todo el mundo. Desde hace siglos, se ha consumido principalmente en los países en vías de desarrollo como los latinoamericanos, africanos y asiáticos. El consumo en países como la Unión Europea y Estados Unidos ha ido en aumento por una parte, debido a la gran cantidad de inmigrantes que lo demandan. Por otra, la población en general ha empezado a utilizar dicho fruto como condimento, en principio con el chile pimienta o dulce, aumentando paulatinamente su consumo de chile picante.

La superficie mundial sembrada de chile asciende a 1.72 millones de hectáreas de chile verde. China es el país que presenta una mayor participación en la producción de chile verde ya que su superficie sembrada actual es de 619,200 hectáreas. Esto representa un 36% de la superficie sembrada mundialmente con una producción de 12.5 millones de toneladas, más de la mitad de la producción mundial de chile verde al año. México, ocupa el segundo lugar en volumen de producción y tercero en superficie cosechada con 140 mil hectáreas y 1.85 millones de toneladas, participando con el 8% en el área y 7% de la producción mundial en toneladas.

Los países que presentan rendimientos más altos son aquellos que emplean tecnologías de alta precisión para la aplicación del riego y fertilizantes, entre los que se encuentran Holanda y Reino Unido con 262 y 247 toneladas por hectárea respectivamente. El siguiente grupo lo forman Kuwait, Australia, Israel, Bélgica, España, Japón y Francia, presentando rendimientos superiores al promedio mundial, el cual es de 19.6 toneladas por hectárea. Un grupo intermedio de países con rendimiento entre 20 y 40 toneladas, lo integran Estados Unidos, Italia, Francia, Japón, Grecia y Turquía entre otros (FAO, 2008).

4.1.2 Producción de chile serrano en México.

México es el país del mundo con la mayor variedad genética con alrededor de 40 variedades de *capsicum*, pero no el productor más importante. La baja producción se debe principalmente, a que casi todas las regiones productoras de chile obtienen bajo rendimiento. El chile verde o serrano sigue siendo, junto con el maíz y frijol, son importante fuente de alimentación para la población del país. El cultivo del chile es importante en la historia, tradición y cultura de México, además, es un producto agrícola con alta demanda mundial, ya que se ubica entre las siete hortalizas más cultivadas del mundo, con una producción mundial estimada de 24 millones de toneladas (Pérez *et al*, 2008).

El cultivo de chile serrano es la principal variedad, por volumen y valor que se produce durante la mayor parte del año. Cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-Sagarpa). En 2010 se sembró una superficie total de 148,759 hectáreas a nivel nacional, de las cuales se obtuvieron 2.33 millones de toneladas de chile verde. En este año, Coahuila reportó una superficie de siembra de 576 hectáreas, con una superficie cosechada de 451 hectáreas y una producción total de 12,047 toneladas con un rendimiento promedio de 26.7 toneladas por hectárea, obteniendo un valor de producción de 57,377 pesos por hectárea (SIAP-Sagarpa, 2010).

4.1.3 Importancia económica y comercialización.

En México se cultivan aproximadamente 80 mil hectáreas de chile verde, en sus diferentes tipos, entre éstos destaca el serrano, ya que éste forma parte fundamental en la cocina mexicana y por lo cual es económicamente atractivo además de ser un cultivo rentable (Fupronay, 2005). Es uno de los más comerciales en México donde goza de preferencia para su consumo en fresco, por lo que la calidad del fruto y su vida de anaquel son factores importantes en su valor comercial (Lownds *et al*, 1994; Martínez *et al*, 2005). El consumo per cápita es de 7.1 kilogramos por año, por lo que es considerado el más alto del mundo; donde el mayor porcentaje es chile picoso (Rincón y Zavala, 2000).

Además de la innegable presencia en el consumo diario del mexicano, el cultivo es importante por el valor que aporta a la producción agrícola de las regiones involucradas, porque genera ingresos competitivos para los productores y porque la cosecha abarca alrededor de 150 días (jornales) por hectárea en zonas de riego. La creación de empleos es reflejo de un impacto social positivo; impacto que trasciende las fronteras de México. Así mismo, juega un papel importante en la alimentación ya que proporciona vitaminas y minerales, es utilizada el área farmacéutica por su efectividad como anestésica y estimulante de la transpiración (Inforural, 2010).

4.2 Información del cultivo de chile serrano.

4.2.1 Origen.

México es considerado el centro de origen del chile *Capsicum annuum*, la especie domesticada por los mesoamericanos, permitiendo con ello la expansión de este en su diversa variedad (Rincón y Zavala, 2000). Pickersgill en 1971 mencionó que el centro de origen y domesticación de la especie fue propiamente en México y Guatemala.

4.2.2 Composición química.

En el Cuadro 1 se presenta la composición química y valor energético del fruto de chile serrano con el efecto de acolchado. El principal componente de este fruto es el agua, la cual representa la cantidad del 94 por ciento (Valadez, 1992).

Cuadro 1. Composición química/100g.

Elemento	Cantidad
Agua	93.0g
Calcio	6.0g
Fierro	1.8 mg
Fosforo	22.0mg
Potasio	195.0mg
Sodio	3 mg
Carbohidratos	5.3g
Fibra	1.2 g
Grasa	0.5 g.
Proteinas	0.9 g
Ácido ascórbico	128.0 mg
Vitamina A	530.0 UI
Energia	25.0 kcal

Nota: g (gramos); kcal (kilocaloria); mg (miligramos); UI (Unidad Internacional).

4.2.3 Características del chile serrano.

Todo chile es del genero *capsicum* de la familia de las solanáceas. Los estudios taxonómicos coinciden en que son cinco las especies cultivadas: *capsicum baccatum*; *c. chinense*; *c. pubescens*; *c. frutescens*; y *c. annum*; de las cuales esta última es la más importante ya que agrupa la mayor diversidad de chile, ya sean cultivados o silvestres (Ramírez, 2002).

El chile *Capsicum annum* L., es una planta herbácea perenne con ciclo de cultivo anual de porte variable con un sistema radicular pivotante y profundo, puede llegar a medir de 70 a 120 cm; pero la mayoría de la raíz está a una profundidad de 5 a 40 cm. La raíz principal es la más fuerte, aunque frecuentemente es la dañada durante el trasplante (Guenkov, 1987).

4.2.3.1 Tallo.

Es de consistencia herbácea y crecimiento limitado y erecto, cuya longitud puede variar de 0.5 a 1.5 cm, cuando las plantas adquieren cierta edad, los tallos se lignifican ligeramente, son de color verde oscuro (Zapata *et al*, 1992).

4.2.3.2 Hoja.

Las hojas son planas, simples y de forma de ovoide alargada, varían mucho en tamaño; son lampiñas, ovales o lanceoladas y miden de 1.5 a 12 cm de largo y de 0.5 a 7.5 de ancho. El ápice es acuminado, la base de las hojas es cuadrada o aguda y el pedicelo es largo o poco aparente. Las hojas al igual que el tallo puede presentar o no velloso (Valadez, 1994).

4.2.3.3 Flor.

Las flores generalmente son solitarias, pero por la forma de ramificación parecen ser axilares, son perfectas, formándose en las axilas de las ramas. Estas son de color blanco y a veces púrpura, los pedicelos miden 1.5 cm de longitud, cáliz campanulado, ligeramente dentado, aproximadamente de 2 mm de longitud. Generalmente alargado y cubierto en la base de los frutos, la corola es dotada, campanulada, dividida en 5 a 6 partes, mide de 8 a 9 mm de diámetro, blanca o verdusca, con 5 o 6 estambres insertados cerca de la base de la corola. Las anteras son anguladas, ovario bilocular, pero a menudo multilocular bajo domesticación, estilo simple, blanco o púrpura. Las flores son hermafroditas con alto porcentaje de polinización cruzada que puede llegar hasta el 50%, también esto puede variar según las condiciones climáticas y abundancia de insectos polinizadores, principalmente himenópteros (Rodríguez, 1988).

4.2.3.4 Fruto.

Los frutos son rectos, alargados o ligeramente encorvados y algunos de forma cónica, tienen de 2 a 10 cm de longitud con cuerpos cilíndricos y epidermis lisa, presentan de 2 a 3 lóculos. En general, son muy picantes, de color verde que varían desde el claro hasta el muy oscuro inmaduro, cambiando luego al color rojo

al madurar, aunque hay genotipos que maduran de color café anaranjado o amarillo (Pozo, 1981).

4.2.3.4 Semillas.

La semilla es muy pequeña, tiene una dimensión de 2 a 3 mm. Por lo general cuando la semilla está verde tiene un color blanco claro, mientras que llegan a su estado de maduración o al secarse tomando un color amarillo pálido (Lesur, 2006).

4.2.4 Clima

4.2.4.1 Temperatura.

La temperatura influencia el crecimiento y metabolismo de las plantas, sin embargo la mejor temperatura no es aquella que produce el crecimiento más acelerado, sino que la que provoca el desarrollo más armónico, en función de las características de cada especie cultivada (Castaños, 1993; Cano, 1998).

La temperatura además de ser determinante en los procesos de fotosíntesis, respiración y acumulación de azúcares y almidones. También está relacionada con la germinación de la semilla, utilización de los elementos nutritivos, pérdida del agua, diferentes formas de desarrollo, daños característicos de las hojas o alta temperatura. El cultivo de chile necesita una temperatura media diaria de 24.5°C, con una mínima de 10°C, con temperatura superior a los 35 ° C la fructificación es muy débil o nula, sobre todo si el aire es seco. Entre los chiles que toleran esta temperatura están ancho, serrano y jalapeño (Infoagro, 2003).

4.2.4.2 Humedad Relativa.

La humedad relativa óptima para el chile serrano oscila entre el 50 y 70%; especialmente durante la floración y amarre de fruto, esta humedad es ideal para un óptimo crecimiento durante las primeras fases. Las humedades relativas mayores pueden traer problemas de enfermedades, una humedad relativa menor con temperatura alta, puede provocar excesiva transpiración y conducir a la caída de flor (Baños *et al*, 1991). Con lo referente a la luminosidad, es una planta muy exigente sobre todo en los primeros estadios de desarrollo y durante la floración.

Se le puede considerar como una planta de día largo en cuanto al periodo de la luz que necesita. Por lo tanto, si hay suficiente intensidad lumínica, se prolonga el ciclo vegetativo de la planta. Uno de los requerimientos que necesita la planta de chile es que se establezca a una altitud de 0-2700 m sobre el nivel del mar (Guenkov, 1983).

4.2.5. Suelo y Fertilización.

El chile verde se desarrolla mejor en suelo con las siguientes características: textura limo-arcilloso, buena profundidad, buen drenaje, es tolerante a ciertas condiciones de acidez y crece bien a pH de 5.5 a 6.8, es una planta que soporta contenidos de 2560 hasta 6406 ppm de sal, equivalentes a 4 y 10 mmhos/cm respectivamente (Valadez, 1992).

El chile se adapta a diferentes tipos de suelo, pero se desarrolla mejor a profundidades de 30 a 60 centímetros y sobre todo en suelo franco arenosos, franco limosos o franco arcilloso, con alto contenido de materia orgánica (Inforural, 2010). Se consideran cuatro etapas de desarrollo para el cultivo de chile serrano, que son: establecimiento, floración, cuajado de fruto, maduración o primera cosecha. En cada etapa, las concentraciones de nitrógeno (*N*) y potasio (*K*) van aumentando, y la relación *N/P* va disminuyendo ya que el potasio es absorbido en gran cantidad durante la etapa reproductiva del cultivo. Para conseguir que la planta tome los nutrientes de forma óptima es necesario que estos se encuentren en concentraciones y relaciones adecuadas en la disolución de fertilizante. De esta forma se evitan fenómenos negativos como efecto osmótico y antagonismos que perturben la absorción de nutrientes por la planta (Cadahia, 1998). En el Cuadro 2 se presenta la concentración de los elementos nutritivos requeridos por el cultivo de chile serrano durante las cuatro etapas de desarrollo.

Cuadro 2. Concentración de elementos nutritivos requeridos por el cultivo de chile serrano en unidades partes por millón (ppm).

Estado de la planta	Elementos Nutritivos (ppm)				
	N	P	K	Ca	Mg
Planta y establecimiento.	100-120	40-50	150-160	100-120	40-50
Floración y cuajado.	150-180	40-50	200-220	100-121	40-51
Inicio de maduración y Cosecha.	80-200	40-50	230-250	100-122	40-52
Cosecha (verano)	130-150	35-40	200-200	100-123	40-53

Fuente: Zaidan y Avidan (1997).

4.2.6 Velocidad de Infiltración del suelo.

La velocidad de infiltración es el proceso que define la entrada y movimiento del agua a través de la superficie del suelo en una unidad de tiempo definida ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ o bien, $\text{cm}\cdot\text{hr}^{-1}$). La velocidad a la que el agua penetra en el suelo es elevada al inicio de la infiltración debido a que el gradiente matricial de succión es elevado en las capas superficiales. En particular cuando el suelo está seco, esta velocidad tiende a decrecer a medida que transcurre el tiempo. La relación entre la velocidad de infiltración y precipitación determina la cantidad de agua que penetra al suelo y la que se pierde por escorrentía. La velocidad de infiltración es afectada por las características del perfil edáfico, como textura, estructura, cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos, así como por el tamaño y volumen total del espacio poroso (García, 2008).

Para determinar la velocidad de infiltración de un suelo, se utilizan comúnmente las siguientes dos metodologías:

- 1) Método de infiltrómetro de doble cilindro.
- 2) Método de entradas y salidas (en surcos).

- 1) Método de infiltrómetro de doble cilindro.

El método consiste en instalar en campo dos cilindros concéntricos de acero con medidas aproximadas de 40 cm de alto, y de 30 y 45 cm de diámetro respectivamente. El sitio seleccionado debe ser característico y previamente limpiado de malezas, desechos, piedras, etc. Se coloca una placa de acero sobre ellos y se golpea hasta que penetren a una profundidad de 10 a 15 cm. Los cilindros deben estar a nivel. Una vez instalados, se llena de agua el anillo exterior, se cubre el anillo interior con un plástico lo más adherido a las paredes posibles, se vierte agua y se mide el tirante con ayuda de un tornillo micrométrico o de una regla. La prueba empieza quitando el plástico rápidamente, por lo que se mide el tirante nuevamente y tomando el tiempo de las lecturas; se hacen a diferentes intervalos dejando que baje el nivel de agua y volviendo a agregar agua cuando se requiera (al hacer esto, el tiempo se denomina tiempo muerto). Después de una a tres horas, cuando el nivel del agua varié muy poco o nada, se puede considerar el término de la prueba.

En el Cuadro 3 se presenta la magnitud de la infiltración de un suelo agrícola, la cual puede variar de muy lenta a rápida con valores de 0.25 a 2.5 $\text{cm}\cdot\text{hr}^{-1}$ respectivamente. Velocidad de infiltración muy lenta, se presenta en suelos con alto contenido de arcilla. La velocidad de infiltración rápida se presenta en suelos con textura arenosa o migajón limoso con buena profundidad y agregación.

Cuadro 3. Clasificación de la magnitud de infiltración en suelos agrícolas.

Clasificación	Magnitud (cm/hr)	Características
Muy lenta	<0.25	Suelos con alto contenido de arcilla
Lenta	0.25-1.75	Suelos con alto contenido de arcilla, bajo en materia orgánica o suelos delgados.
Media	1.75-2.50	Suelos migajones arenosos o migajones limosos
Rápida	>2.50	Suelos arenosos o migajonosos limosos profundos y de buena agregación.

Las ecuaciones que se utilizan para determinar la velocidad de infiltración son:

Ecuación de Horton.

$$L = V_f + (v_i - v_f) e^{-kt} \quad (1)$$

Donde L = es la velocidad de infiltración (cm.hr⁻¹); V_f = velocidad final de infiltración (cm.hr⁻¹); v_i = velocidad inicial de infiltración (cm.hr⁻¹); K = constante a dimensional; y t = tiempo (hr).

Ecuación de Philip.

$$f(t) = \frac{(S * t^{\frac{1}{2}})}{2} + A \quad (2)$$

Donde $f(t)$ es la infiltración en función del tiempo; t es el tiempo; S es un coeficiente de absorción en función del potencial de sección; y A es la infiltración inicial.

Ecuación de Kostiakov – Lewis.

Desarrollaron un modelo empírico que en México es el más común para conocer la velocidad de infiltración en un punto.

$$I = Kt^n \quad (3)$$

Donde I = es la velocidad de infiltración (cm.hr^{-1}); t = tiempo (min); K = parámetro que representa la velocidad de infiltración durante el intervalo inicial (cuando $t=1$); n = parámetro que indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo ($-1.0 < n < 0$).

2) Método de entradas y salidas (en surcos).

El método consiste en hacer en el terreno, un surco, de preferencia de las mismas dimensiones y dirección que normalmente se realizan en ese terreno, se selecciona un tramo (50 a 100 m), se coloca una estructura aforadora pequeña al final del surco, se aplica un gasto constante a la entrada del surco (1 a 3 lps), mediante sifones calibrados (Cisneros, 2003).

4.2.7. Época de siembra.

La época de siembra del chile serrano depende de los riesgos de daño por helada tardía o por sequía (dependiendo de la zona donde se pretende cultivar) del rendimiento y calidad de fruto óptimos y sobre todo de la época en que se desea cosechar el producto. Para esto, se consideran tres etapas de siembra para el cultivo de chile serrano; siembra temprana, la cual se considera dentro del mes de febrero, la siembra intermedia se considera en los primeros 15 días de marzo, la siembra tardía considera los últimos 15 días de marzo hasta los primeros días del mes de mayo (Chapingo, 2009).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) realizó un trabajo de Tecnología de Producción para el Cultivo de Chile Serrano con Ferti-irrigación en la Zona Media de San Luis Potosí. Este especifica que el mejor rendimiento se obtiene con una población de 37 mil plantas por

hectárea; esto se logra dejando una planta, a una distancia de 30 centímetros y una separación entre surcos de 90 centímetros (INIFAP, 2013).

4.2.7.1 Siembra directa.

La siembra directa del cultivo de chile serrano se realiza nivelando ligeramente con un tablón para uniformizar la superficie del suelo, el cual debe estar perfectamente suave con la humedad suficiente para que permita el desplazamiento de la sembradora. Se utiliza una sembradora tipo Planeta junior, la siembra se hace a “chorrillo”, depositando la semilla a 2 o 3 cm de profundidad. Se requieren de 2 a 3 kg de semilla para una hectárea (Mata *et al*, 2010).

4.2.7.2 Trasplante de plántulas.

El trasplante se realiza cuando las plántulas alcanzan una altura de 15 a 20 cm en los módulos de germinación. Esto ocurre aproximadamente a los 35 días después de la siembra, las plantas alcanzaran el tamaño apropiado para ser trasplantadas. El trasplante se realiza colocando de tres a cuatro plantas por metro en dos hileras ubicadas a ambos lados de la cintilla y a unos 25 a 30 cm una de otra. Los mejores rendimientos se obtienen con una población de 36 a 43 mil plantas por hectárea (Mata *et al*, 2010).

4.2.8. Principales plagas y enfermedades del cultivo de chile serrano.

4.2.8.1 Plagas.

Minador de la hoja (*Liriomyza sp*).

Los adultos son pequeñas mosquitas de color negro y amarillo miden de 2 a 3 mm y con el dorso obscuro. El huevecillo eclosiona en un lapso de 2 a 4 días después de que es depositado en la lámina de la hoja. El estado larvario dura de 7 a 10 días y alcanza una talla de uno a dos milímetros de largo al estar totalmente desarrollado, presenta una coloración amarillenta o café. La pupa tarda de 8 a 15 días en eclosionar, esta, normalmente se encuentra en el suelo, pero puede estar dentro de la hoja o en superficie. Este insecto está localizado en México, centro América y regiones del Caribe, teniendo como principales hospederos a los cultivos de: calabacita, chícharo, col, frijol, melón, papa, sandía, tomate, chile y

diversas plantas ornamentales. Las larvas minan las hojas en forma de espiral, el ataque severo provoca que las hojas se sequen y caigan (Romero, 1999).

Mosquita blanca (*Bemisia tabaci*).

A nivel mundial se reportan 1,200 especies incluidas 120 géneros. Sin embargo, en México solo son reconocidas como especies de importancia económica *Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum* y más recientemente *Bemisia argentifolii* las cuales se encuentran presentes en territorio nacional atacando cultivos como jitomates, chiles, algodón, melón, sandía, frijol, col y cítricos en otros.

El mayor daño de estos insectos está relacionado con la transmisión de enfermedades de tipo viral, ya que provocan pérdidas considerables en la cantidad y calidad en las cosechas (Castaños, 1993). Son insectos chupadores, que se localizan en el envés de las hojas de las plantas hospedantes. El adulto tiene alas de color blanco y mide en promedio 0.433 mm de largo por 0.270 mm de ancho. Su ciclo biológico conforma de huevecillos, ninfa y adulto. Las hembras colocan sus huevecillos en el envés de hojas desordenadamente en posición vertical. Estas pueden copular varias veces y su longevidad es de ocho semanas para machos y 11 para hembras. Presentan de 11 a 12 generaciones al año y en condiciones de cautiverio, una hembra puede depositar hasta 300 huevecillos en toda su vida. Durante el invierno, los adultos permanece inactivos en el envés de las hojas y solo cuando la temperatura asciende, se vuelven activos.

En general, un incremento de temperatura favorece el desarrollo y aumenta su actividad, reduciendo el tiempo para completar su desarrollo. El control cultural que se recomienda para el control de este insecto es: eliminar las malas hierbas en drenes, canales y áreas adyacentes a los cultivos, y sobre todo destruir los residuos de las plantas afectadas. También se puede controlar de forma biológica, ya que tiene varios enemigos naturales, entre los que se encuentran insectos y ácaros depredadores e insectos parasitoides (Anaya *et al*, 1999). En virtud de la resistencia que está desarrollando a varios insecticidas, debe seleccionarse cuidadosamente el producto, dosis y la época de aplicación (CELALA, 2003).

Gusano soldado (*Spodoptera exigua*).

Es un lepidóptero que pertenece a la familia de los noctuidae. Sin embargo existen otras especies de la misma familia que atacan a este cultivo, entre las principales son: *Spodoptera littoralis*, *Plusia chalcites*, *Plusia gamma*; siendo la climatología, ubicación geográfica, modalidad y ciclo de cultivo, los que determinan que especies pueden presentarse en un cultivo de pimientos.

Los adultos son palomillas de color café grisáceo en las alas anteriores y de tonalidad blancas translucidas en las posteriores. Actualmente, es una de las principales plagas del cultivo de chile bajo invernadero, causando daños en estadios larvarios, esqueletizando las hojas de las plantas e incluso llegan a penetrar en los frutos. Su ciclo de vida dura alrededor de un mes y presenta de tres a cinco generaciones al año. Como control preventivo se recomienda eliminar las malas hierbas de los alrededores.

Para el control biológico, se pueden utilizar las siguientes especies depredadoras como: *Chrysoperla carnea*, *Coccinella septempunctata* así como la chinche pirata *Orius* y la chinche ojona *Geocoris* (Nuez *et al*, 1996).

Ácaros o Araña Roja (*Poliphagotarsonemus latus*).

Los ácaros que producen daños en el cultivo de chile pertenecen a la familia Tetranychidae y Tarsonemidae. Especies identificadas de tetranychidos que afectan a este cultivo, el *Tetranychus urticae* la que mayores daños ocasionan al cultivo del chile. Es una especie cosmopolita, conocida con los nombres de araña roja, arañita de dos manchas y también como araña amarilla. Es muy polífaga desarrollándose sobre más de 150 especies cultivadas, en estado adulto puede tener una coloración variable, dependiendo de la edad, tipo de alimento y clima.

Normalmente son de color amarillo verdoso, conforme van envejeciendo toman coloraciones rojizas, más intensas en las hembras. Su ciclo completo comprende de cinco estados de desarrollo: huevo, larva, protoninfa, deutoninfa y adulto. La reproducción es asexual, aunque puede darse por paratogenesis de *Telitoquia* (los huevos no fecundados dan lugar a hembras) cada hembra puede

poner más de 100 huevos durante los 22 a 28 días que dura su vida. El paso del huevo a adulto lo puede realizar en 10 a 15 días a 25 °C y 80% de humedad relativa; siendo estas las condiciones óptimas para su desarrollo. Por lo regular colonizan sobre las hojas jóvenes, aunque en ataques severos se encuentran distribuidos sobre las hojas de toda la planta. El viento es el principal diseminador de la plaga, así como el contacto entre plantas, los daños son ocasionados por las picaduras, ya que al clavar los estiletes, absorben los jugos celulares, el tejido afectado toma una coloración amarillenta, se tornan marrón con el paso del tiempo. El control preventivo consiste en eliminar los restos vegetales anteriores de cosechas, así como las malas hierbas del interior y exterior del predio. Para el control biológico destacan algunos ácaros fitoseidos como *Phytoseiulus perimilis* y p. *Macropilis* (Lacasa, 2001).

4.2.8.2 Enfermedades.

Damping off o secadera de plántulas.

Es un problema fuerte en plántulas desde la preemergencia hasta un mes de edad. Las plántulas se pueden marchitar rápidamente causando una drástica reducción de la población. Esto obliga a efectuar labores de resiembra y afecta la programación de planteo. La enfermedad puede ser causada por un complejo de hongos que incluyen a *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora* y *Fusarium*. Estos hongos sobreviven por largos periodos en el suelo, pueden resistir en residuos de plantas enfermas o en raíces de malezas. El damping off tiende a ser más severa bajo condiciones de alta humedad del suelo, compactación, ventilación deficiente y ambiente húmedo, nublado y fresco.

La semilla se puede pudrir antes de la emergencia dando la apariencia de fallas de germinación. Después de la emergencia, las plántulas muestran lesiones en la base del tallo que lo rodean y las plantas se marchitan. En caso del *Pythium*, las lesiones son oscuras y acuosas que se inician en las raíces y avanzan por el tallo hasta arriba del nivel del sustrato; en el caso de *Rhizocotonia*, las lesiones son de café rojizo a oscuros, y pueden afectar las raíces y el cuello de las plántulas. Es recomendable desinfectar el sustrato de las charolas germinadoras,

así como el uso de semilla sana y/o desinfectada. Para la desinfección de las plántulas se recomienda aislar y quemar las plantas enfermas, así como eliminar todos los residuos antes del trasplante, se puede sumergir la raíz en una solución fungicida antes de sembrar (Sánchez, 2001).

Tizón tardío (*Phytophthora infestans*).

Es considerada la enfermedad más destructiva del tomate y papa. El patógeno que la produce tiene una capacidad de diseminarse y reproducirse rápida y abundantemente. Es la típica enfermedad causante epifita, cuyo daño pueden llegar a niveles catastróficos.

El patógeno que causa esta enfermedad es *Phytophthora infestans*. Las esporas de este hongo, pueden ser diseminados a grandes distancias por el viento. El ambiente húmedo y fresco, días nublados y lluviosos, favorecen el desarrollo de esta enfermedad. Esta enfermedad puede afectar rápidamente todos los tejidos aéreos de la planta. En las hojas aparecen manchas irregulares de tamaño variable. Las lesiones son primero de color verde oscuro con márgenes pálidos, los cuales, al a ver humedad abundante, muestran filamentos de color blanquecino; después, las lesiones se tornan de color café y pueden invadir toda la lámina foliar. Esto provoca que pierda rigidez y que su peciolo se doble hacia abajo; también los tallos y las ramas pueden ser afectados de la misma forma, y los frutos dañados presentan grandes manchas de color café rojizo que en ocasiones las cubren por completo. Para controlar de una manera segura el tizón tardío, es mediante el diseño de un buen programa de aspersión de fungicidas basado en un sistema efectivo de pronóstico de la enfermedad.

Tizón temprano (*Alternaria solani*).

Es una de las enfermedades de importancia para el cultivo de chile verde ya que es capaz de infestar cualquier órgano de la planta, desde la base del tallo, peciolos, hojas, flor y fruto. El agente causal del tizón temprano del chile es el hongo *alternaria solani*. El patógeno inverna en tejidos de cosecha que permanecen en el suelo, las conidias germinan a temperaturas entre 24 a 29 °C y

ambiente húmedo o lluvioso; estos se diseminan fácilmente a través del aire y de la lluvia.

Los primeros síntomas ocurren en las hojas más viejas, y consiste en pequeñas lecciones irregulares color café oscuro, en cuyo interior se forman anillos concéntricos debido a la resistencia que presenta la planta para detener el avance de la infección. Las lesiones pueden crecer hasta alcanzar 1.5 cm de diámetro o más. Típicamente las lesiones se rodean de un color amarillo debido a la producción de toxinas; y cuando las lesiones son numerosas, se pueden unir, destruyendo el tejido foliar, afectando la producción y calidad de las frutas.

La enfermedad puede causar tizón de las flores, y las lesiones en tallos y frutos, normalmente muestran el patrón de anillos concéntricos; además, cuando envejecen producen un polvillo negro que corresponde a las fructificaciones del hongo. El método de control más efectivo está basado en la aplicación oportuna de fungicida preventivo.

Marchitez o secadera tardía (*Phytophthora capsici*).

El Oomiceto *Phytophthora capsici* es agente causal de la enfermedad universal conocida del Chile. Produce esporangios de forma elipsoidal en cuyo interior se diferencia varias esporas biflageladas o zoosporas. Esta enfermedad puede provocar daños en cualquier parte de la planta y en cualquier estado de desarrollo. La podredumbre del cuello y la subsiguiente marchitez brusca son los síntomas más característicos. En el cuello de la planta enferma puede observarse una zona anular deprimida de color negruzco, que afecta primero los tejidos corticales y posteriormente a los vasculares. Infecciones a partir de puntos más altos en la planta, se suelen producir por salpicaduras de gotas de agua portadoras de las zoosporas que pueden germinar sobre tallos, hojas y frutos, en estos a través de la inserción peduncular o de heridas. Los ataques aéreos también pueden ser provocados por corrientes de aire, necesariamente húmedo, para asegurar la sobrevivencia de las zoosporas.

La *Phytophthora capsici* puede sobrevivir en el suelo por medio de clamidosporas (esporas de conservación que dan origen a las infecciones primarias) o sobre restos vegetales. Se recomiendan humedades altas en las proximidades del cuello de la planta, mediante la utilización de parcelas bien drenadas y niveladas también es posible la utilización de cultivares resistentes (Nuez *et al*, 1996).

4.2.9. Cosecha del chile serrano.

La cosecha se realiza cuando el fruto alcanza su tamaño característico y cambian de color verde opaco a verde brillante, esto sucede entre los 90 a 100 días después del trasplante. Los siguientes dos, tres o cuatro cortes se hacen a un intervalo de 18 a 25 días aproximadamente (Inifap, 2013).

4.3 Necesidades hídricas del cultivo de chile serrano.

4.3.1 Evapotranspiración.

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). Por otra parte, la transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera.

Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales (FAO Riego y Drenaje, 2006).

4.3.1.1 Evapotranspiración de referencia (Eto).

Se conoce como evapotranspiración de referencia a la tasa de evaporación de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua, corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas (FAO Riego y Drenaje, 2006).

Método Penman.

La fórmula de Penman se presentó por primera vez en el año de 1948 y está basada en cuatro factores climáticos: radiación neta, temperatura del aire, velocidad del viento y déficit de presión de vapor, y se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$PET = \frac{\frac{R_n}{a} + b E_a}{C + b} \quad (4)$$

Donde PET = es la evapotranspiración potencial diaria (mm.día); C = pendiente de la curva de la presión del vapor del aire saturado en (mb/°C); R_n = radiación neta en (cal.cm⁻².dia); a = energía latente de la vaporización del agua [59.59-0.055 T] cal.cm⁻² – mm o 58 cal.cm⁻² – mm a 29°C..

$$E_a = 0.263 (e_a - e_d)(0.5 + 0.0062u_2) \quad (5)$$

Donde E_a es la presión promedio del vapor del aire $mb = (e_{max} - e_{min})/2$; e_d = es la presión del vapor del aire a la temperatura mínima del aire en mb; U_a = es la velocidad del viento a 2 metros de altura en km.dia⁻¹; b = es la constante psicométrica = 0.66, en mb/°C; $T = (T_{max} - T_{min})/2$ en grados (°C). $(e_{max} - e_{min})$ = igual a la diferencia entre presiones máxima y mínima del vapor de aire (mb). $(T_{max} - T_{min})$ = diferencia entre temperaturas máximas y mínima diaria en °C (Goyal, 2006).

Método Penman – Monteith.

El método de Penman – Monteith puede considerarse como el método estándar de todos los métodos combinados para estimar la evapotranspiración (ET) del cultivo de referencia. La mayoría de los métodos combinados presentan

ligeras dependiendo del tipo de cultivo y de la localización de los instrumentos meteorológicos. Por esta razón, el método de Penman – Monteith utiliza términos como la resistencia aerodinámica del follaje para relacionar la altura de los instrumentos meteorológicos con la altura del cultivo y la resistencia estomática a la transpiración mínima que dependerá del tipo de cultivo y de su altura (FAO riego y drenaje 2006).

La ecuación de Penman – Monteith se define:

$$ET = ET \text{ radiación} + ET \text{ aerodinámica} \quad (6)$$

La ecuación final es:

$$ET_o = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{10}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{90}{T + 275} u_2 (e_s - e_a) \right] \quad (7)$$

Donde ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm.día^{-1}); γ^* = constante psicrométrica modificada utilizada en el método de Penman-Monteith (mbar.C^{-1}); $e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (mb); e_s = presión de vapor a saturación a la temperatura promedio del aire (mb); e_a = presión de vapor tomada a la temperatura a punto de rocío (mb); L = calor latente de vaporización (cal.gr^{-1}); Δ = pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor a una temperatura específica ($\text{mbar.}^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ = constante psicrométrica; R_n = energía de radiación neta ($\text{cal.cm}^2\text{día}^{-1}$); T = temperatura promedio ($^{\circ}\text{C}$); G = flujo termal del suelo (cal.cm^{-2}).

Método Blaney – Criddle.

La ecuación de Blaney-Criddle es usada ampliamente en diversas regiones del mundo, en la que se consideran dos parámetros importantes: la temperatura media mensual y el porcentaje de horas luz mensual con relación al total anual. Originalmente el método se diseñó para el cálculo de la ET_c durante todo el ciclo vegetativo del cultivo, mediante la siguiente ecuación:

$$ET_c = (Kg)(F) \quad (8)$$

Donde ET_c = evapotranspiración del cultivo (cm); Kg = coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y la ubicación de la zona de estudio (adimensional); F = factor climático que es equivalente a la evapotranspiración potencial. La ecuación que define su cálculo se precisa como:

$$F = \sum_{i=1}^n f_i \quad (9)$$

Donde f_i es valor del factor climático o ET_p mensual, en centímetros.

$$f_i = \left[\frac{T_i + 17.8}{21.8} \right] * P_i \quad (10)$$

Donde T_i = temperatura media mensual (°C); P_i = porcentaje de horas luz del mes respecto del total anual (%).

Este método fue modificado por J. T. Phelan, quien propuso la siguiente corrección a cada una de las (f_i) mensuales, la cual está en función de cada una de las temperaturas medias mensuales (T_i).

$$K_{ti} = 0.03114 * T_i + 0.2396 \quad (11)$$

Para conocer la ET_c de cada mes, el producto se multiplica por un coeficiente mensual del cultivo del cual se trate, (Sagarpa, 2012).

Método de Hargreaves.

Hargreaves desarrollo un método para estimar la evapotranspiración potencial (*PET*) para esto utiliza un mínimo de datos climatológicos el cual simplifico mediante la fórmula:

$$PET \hat{=} MF (1.8 T + 32) CH \quad (12)$$

Donde *PET* = evapotranspiración potencial en (mm.mes⁻¹); *MF* = factor mensual dependiendo de la latitud; *T* = temperatura promedio mensual (°C); *CH* = factor de corrección para la humedad relativa (*HR*) a ser usado para la *HR* excede el 64% = 0.166(100 – *HR*)^{1/2}.

La fórmula original de Hargreaves para *PET*, basada en radiación y temperatura puede presentarse como:

$$PET = (0.0135 \times RS) \times [T + 17.8] \quad (13)$$

Donde *RS* = es la radiación solar (mm.día⁻¹); *T* = temperatura promedio (°C). Para estimar *RS* de la radiación extraterrestre (*RA*) Hargreaves y Samaní formularon la siguiente ecuación:

$$RS = K_{rs} \times RA \times TD^{0.50} \quad (14)$$

Donde *T* = temperatura promedio (°C); *RS* = radiación solar; *RA* = radiación extraterrestre; *K_{rs}* = coeficiente de calibración; y *TD* = temperatura máxima menos temperatura mínima.

Hargreaves modificado.

Después de varios años de calibración de la ecuación No. 9, quedo de la siguiente forma:

$$PET = 0.0023 R_a \times (T + 17.8) \times (TD)^{0.50} \quad (15)$$

Donde *PET* = evapotranspiración potencial; *R_a* = radiación extraterrestre (mm.día⁻¹); *T* = temperatura promedio del tiempo (°C); y finalmente la *TD* = temperatura máxima menos temperatura minina (°C) siendo esta una de los métodos más sencillos ya que solo se requiere datos de temperatura máxima y mínima los cuales suelen estar generalmente disponibles (Goyal, 2006).

Método Tanque Evaporímetro.

Se basa en la propuesta por Grassi en la que estipula que las medidas de evaporación en una superficie de agua en un tanque evaporímetro integran los efectos de los diferentes factores meteorológicos que influyen en la evaporación. Basado en esto, se puede estimar con cierta precisión la evapotranspiración de un cultivo utilizando la siguiente expresión:

$$E_{tr} = E_{tp} * K_c \quad (16)$$

Si consideramos que $E_{tp} = C * E_v$ tenemos:

$$E_{tr} = C * E_v * K_c \quad (17)$$

Donde E_{tr} = evapotranspiración real; E_{tp} = evapotranspiración potencial; C = coeficiente de ajuste de la evaporación por la posición del tanque, la intensidad del viento y por el porcentaje de la humedad relativa mensual sobre el tanque; E_v = evaporación media en tanque tipo A; K_c = coeficiente de ajuste en función del desarrollo vegetativo del cultivo.

El tanque tipo "A", es el más utilizado por el Servicio Meteorológico Nacional y estipula que las tinajas tengan un diámetro de 1.22 m por 0.26 m de altura. Su colocación está condicionada a ciertas normas que cubren la altura sobre el suelo fijándola a 0.50 m sobre la superficie del terreno sobre tabloncitos de 4" x 4" cuyo tanque de aluminio deber ser pintado de color generalmente blanco, recomendándose no utilizar colores oscuros o negros. Puede estar rodeado de pasto o en tierra seca. El nivel del agua dentro de la tina se debe conservar de 15 a 20 cm y teniendo cuidado de que no se formen en la superficie capas de nata que modifiquen el valor de la evaporación (De la Peña, 1987).

4.3.1.2 Evapotranspiración máxima o estándar (ET_c).

Los métodos de cálculo de la ET_c , se dividen en directos e indirectos. Los métodos directos proporcionan directamente el valor del consumo total del agua requerida por las plantas, para lo que se utilizan aparatos e instrumentos en su determinación, los métodos indirectos proporcionan un valor estimado del agua requerida a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la aplicación de fórmulas empíricas basadas en datos climáticos. La ET_c puede determinarse a partir de la evapotranspiración potencial, ET_p (o evapotranspiración del cultivo de referencia), según la siguiente expresión:

$$ET_c = (ET_p) * (K_c) \quad (18)$$

Donde K_c = coeficiente de cultivo (adimensional) que varía con el cultivo y su desarrollo vegetativo; ET_p = evapotranspiración potencial. Las unidades comunes de medida de ET_c y ET_p suelen ser mm.día^{-1} , mm.mes^{-1} o mm.temperada^{-1} (FAO riego y drenaje, 2006).

Coeficiente de cultivo (K_c).

De acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ET_c se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_o y el coeficiente del cultivo K_c

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (19)$$

Donde ET_c = evapotranspiración del cultivo (mm.d^{-1}); K_c = coeficiente del cultivo (adimensional); ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm.d^{-1}).

La mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de ET_o . Por lo tanto, mientras ET_o representa un indicador de la demanda climática, el valor de K_c varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas. Este hecho constituye la razón principal de la aceptación

general y utilidad de la metodología del coeficiente del cultivo. Durante el periodo de crecimiento del cultivo, la variación del coeficiente K_c expresa los cambios en la vegetación y el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo. Para describir y construir la curva del coeficiente del cultivo se necesitan solamente tres valores de K_c : los correspondientes a la etapa inicial ($K_{c\ inicial}$), la etapa de mediados de temporada ($K_{c\ med}$) y la etapa final ($K_{c\ fin}$) (FAO Riego y Drenaje, 2006).

Coeficiente dual del cultivo ($K_c = K_{cb} + K_e$).

El valor de $K_{c\ med}$ es relativamente constante para la mayoría de condiciones de crecimiento y prácticas culturales. Sin embargo, los valores de $K_{c\ inicial}$ y $K_{c\ fin}$ pueden variar considerablemente cuando se considera una escala de tiempo diaria, dependiendo de la frecuencia del humedecimiento a través del riego y la lluvia. El procedimiento del coeficiente dual permite calcular el incremento real del valor de K_c , que ocurre en cada día, en función del desarrollo de la planta y del humedecimiento de la superficie del suelo. Debido a que el coeficiente único K_c considera los efectos promedios de la evaporación del suelo.

La curva del coeficiente dual del cultivo K_{cb} , la cual describe solamente la transpiración de la planta, se situara por debajo del valor de K_c . La mayor diferencia entre los valores de K_c y K_{cb} ocurre en la etapa inicial de crecimiento, donde la evapotranspiración está constituida principalmente por la evaporación del suelo y donde la transpiración del cultivo es relativamente pequeña. Debido a que la cubierta vegetativa será completa o cercana a completa durante la etapa de mediados de temporada del cultivo, la evaporación que ocurre por debajo de la vegetación tendrá un efecto menor en la evapotranspiración del cultivo, por lo que el valor de K_{cb} para la etapa de mediados de temporada será similar al valor de K_c dependiendo del grado de cobertura del suelo, el coeficiente basal del cultivo durante la etapa de mediados de temporada podría ser solamente 0.05 – 0.10 menor al valor de K_c .

Asimismo, dependiendo de la frecuencia con la cual se riega el cultivo durante la etapa final de crecimiento, el valor de K_{cb} será similar si es regado infrecuentemente o menor que el valor de K_c (FAO Riego y Drenaje, 2006).

4.3.1.3. Evapotranspiración real o no estándar (E_{tr}).

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_c) se refiere a la evapotranspiración de cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes de las condiciones estándar. Bajo condiciones de campo, la evapotranspiración real del cultivo puede desviarse de ET_c debido a condiciones no óptimas como son la presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo y limitación o exceso de agua. Esto puede resultar en un reducido crecimiento de las plantas, menor densidad de plantas y así reducir la tasa de evapotranspiración por debajo de los valores de ET_c . La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar se calcula utilizando un coeficiente de estrés hídrico K_s o ajustando K_c a todo tipo de condiciones de estrés y limitaciones ambientales en la evapotranspiración del cultivo (FAO Riego y drenaje, 2006).

4.3.2 Intervalo de riego o frecuencia de riego.

El intervalo de riego depende de los requerimientos de riego de los cultivos, de la capacidad de almacenamiento de humedad de los suelos en la zona radical del sistema de riego y de la sensibilidad del cultivo al estrés hídrico (León, 2008). Se obtiene mediante la siguiente fórmula.

$$Fr = \frac{Lr}{ET_c} \quad (20)$$

Donde Fr = intervalo o frecuencia permitida entre riegos (días); Lr = lámina de riego (mm); y la ET_c = uso consuntivo diario (mm.día^{-1}) (León, 2008).

4.3.3 Lámina de riego neta.

Es la cantidad de agua que debe ser aplicada durante el riego con el fin de cubrir el agua que ha utilizado el cultivo durante la evapotranspiración. Esta se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$Ln = \frac{Ad \times Pa}{100} \quad (21)$$

Donde Ln = lamina neta (cm); Pa = porcentaje de agotamiento (%); y Ad = agua disponible. Esta última se calcula con la siguiente fórmula:

$$AD = \frac{(CC - PMP)}{100} Da \times Zr \times 10 \quad (22)$$

Donde AD = agua disponible; CC = capacidad de campo (%); PMP = punto de marchitez permanente (%); Da = densidad aparente (gr.cm^{-3}); y Zr = profundidad efectiva de raíces (cm).

La cantidad de humedad disponible en un suelo, que pueda ser tomada por las plantas para su desarrollo, depende de la densidad efectiva de raíces del cultivo y su profundidad, así como también la habilidad del suelo para almacenar el agua disponible. Las características principales del suelo utilizadas para estimar su capacidad de almacenamiento potencial de agua disponible, incluyendo la capacidad de campo (CC); el punto de marchitez permanente (PMP); y el agua disponible (AD).

Capacidad de campo (CC).

Es la cantidad de agua que retiene el suelo después de un riego amplio o de una lluvia fuerte cuando no existe impedimento alguno de drenaje. Esto último lo diferencia de saturación, que es cuando todos los poros se encuentran llenos de agua y sin aire, ya que la primera lo ha desplazado.

Punto de marchitez permanente (PMP).

Es el contenido de agua del suelo por debajo de la cual la planta no puede extraer efectivamente agua del suelo, y en el cual las plantas no se recuperan aunque se les exponga a un medio de alto contenido de humedad.

Densidad aparente (D_a).

Es la relación entre el peso seco del suelo y el volumen que ocupa.

Profundidad efectiva de raíces (Z_r).

Es aquella donde se encuentra el 70% de las raíces de la planta y hasta donde se debe abastecer de agua.

Porcentaje de abatimiento (P_a).

El porcentaje de abatimiento permisible, es la fracción del total del agua disponible en el suelo que permite se consuma de volver a regar nuevamente. El valor del porcentaje de agotamiento tiende a bajar en los cultivos de alto valor, a menos que sea necesario someter a las plantas a estrés para tener una producción aceptable.

Agua disponible (A_d).

El agua disponible puede ser definida como $CC - PMP$, la cual se expresa como una profundidad de agua disponible por metro de profundidad de suelo (Álvarez, 2005).

En el Cuadro 4 se presenta el agua disponible del suelo para diferentes texturas, donde existen valores de 20 a 65 mm por metro para suelos con textura de arena gruesa y de 110 a 150 para suelos arcillosos.

Cuadro 4. Agua disponible (*Ad*) para varias texturas de suelo.

Textura del suelo	Agua disponible (mm.m⁻¹)
Arena gruesa	20-65
Arena fina	60-85
Arena franca	65-110
Franco arenoso	90-130
Franco arenoso fino	100-170
Franco limoso	150-230
Franco arcillo limoso	130-160
Arcillo limoso	125-170
Arcilloso	110-150
Tubas y fangos	160-240

(Fuente: Álvarez, 2005).

4.3.4. Lámina de riego bruta.

Los sistemas de riego no son 100% eficientes, sino que en el manejo del agua ocurren pérdidas inevitables, las cuales varían con el método de riego empleado. Por ello, es necesario aplicar una cantidad de agua superior a la lámina neta, que compense las mermas por las deficiencias del sistema (Álvarez, 2005). Esta se llama lámina bruta (*Lb*) y se puede determinar de la siguiente forma:

$$Lb = \frac{Ln}{Ef} \quad (23)$$

En donde Lb = lámina bruta (cm); Ln = lámina neta (cm); y Ef = eficiencia del riego expresada en (%) (Álvarez 2005).

4.4 Tecnificación del riego en cultivos de chile serrano.

4.4.1 Sistema de riego por gravedad.

Consiste en conducir una corriente de agua desde una fuente abastecedora hacia los campos y aplicarla directamente a la superficie del suelo por gravedad, cubriendo total o parcialmente el suelo. Las ventajas de este sistema de riego, es el bajo costo de inversión a nivel parcelario, puede regarse en horas con fuerte viento, no existe problema con el riego de parcelas irregulares, no tiene influencia en la aplicación de pesticidas, no crea ambientes para la propagación de enfermedades fungosas y pueden mejorarse los suelos en épocas de “Avenidas”.

Algunas de sus limitaciones es que se requiere más agua por unidad de superficie cultivada, hay peligro de acumulación de agua en el sub-suelo, causando problemas de drenaje y salinidad. La preparación del suelo es costoso y lento, además es necesario un levantamiento topográfico, cerca del 5 al 10% de la superficie del suelo es ocupado por canales de riego y drenaje, y existe una tendencia de pérdida de suelo debido a la erosión hídrica y eólica. La eficiencia de riego es baja comparando con otros métodos de riego y se emplea más mano de obra en los riegos (Pinto, 2009).

4.4.2 Sistema de riego por goteo o cintilla.

El riego por goteo fue desarrollado inicialmente para cultivos bajo condiciones de invernadero, pero ha sido adaptado y extendido para el uso en cultivos en campo. El sistema de riego por goteo es un método eficiente para la aplicación de agua y nutrientes al cultivo de chile. Con el uso de este sistema puede resultar un 50 % menor de consumo de agua comparado con un sistema de aspersión y obtener el doble de la producción del cultivo. Estos beneficios se obtienen cuando el sistema de riego es bien diseñado, manejado y mantenimiento

programado. El sistema de riego por goteo es una práctica de ingeniería compleja que es recomendable el manejo por un personal capacitado para obtener los beneficios (Plasticulture, 2010).

Este sistema de riego consiste básicamente en el abastecimiento de agua en pequeñas cantidades sobre la superficie del suelo cercana a la zona radicular de la planta. La eficiencia es una de las cualidades más importantes del sistema de riego por goteo, mediante este sistema se aprovecha más del 90% del total de agua aplicada. Esta eficiencia está relacionada con los valores bajos de escurrimiento y depende del manejo de la cantidad y frecuencia de agua usado en el riego. Por lo tanto, la cantidad de agua será basada a las necesidades del cultivo y las condiciones ambientales.

Otro beneficio del sistema de por goteo es la aplicación de fertilizantes solubles y otros químicos como ácido sulfúrico, insecticidas, entre otros. Con el uso del sistema de riego por goteo, la cantidad de agua aplicada en el suelo crea un microambiente más favorable para el crecimiento de la planta, evitando altas temperaturas y desplazando sales de la zona radicular. Sin embargo, uno de los inconvenientes del sistema es el costo inicial alto, además el taponamiento de los emisores por arena, sedimentos, precipitaciones químicas y presencia de algas (Asawa, 2008; Burton, 2010).

El sistema de riego por goteo consiste básicamente en lo siguiente: una bomba, filtros, manómetro, inyector de fertilizantes, válvulas, sistemas de tubería (principal, sub-principal y laterales) y los emisores con el uso de cintillas (Wilk *et al*, 2009). La presión de operación de las cintillas debe ser alrededor de 10 lb.in⁻² (psi). El gasto de agua del sistema fluctuará según la presión, a mayor presión mayor gasto, hasta llegar al gasto máximo especificado por gotero (Burt *et al*, 1998).

VI. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1 Localización y características del área de estudio.

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera (CENID – RASPA), ubicado en el municipio de Gómez Palacio, Dgo., localizado geográficamente a $25^{\circ} 31' 57''$ de longitud N; $103^{\circ} 25' 57''$ de longitud W; y una altura de 1,123 metros sobre el nivel del mar.

El clima de la región es desértico, muy árido, con precipitación anual de 250 mm y temperatura media anual de 22°C . Las lluvias son en verano, con lluvias invernales que representan alrededor de un 5 a 10.2 por ciento del total anual (García, 1970).

5.2 Metodología.

5.2.1 Diseño Experimental.

En este estudio se utilizó un diseño experimental bloques completamente al azar con arreglo de tratamientos trifactorial ($2^2 \times 3$) con cuatro repeticiones; donde el primer factor asumirá tres niveles, los cuales corresponden a tres híbridos de chile serrano: $H_1 = \text{Camino Real F1}$; $H_2 = \text{Montero}$ y $H_3 = \text{Arista F1}$. El segundo factor comprende las láminas de riego, en este se definieron dos niveles: $L_1 = 100\%$ de la evapotranspiración máxima y $L_2 = 85\%$; y el tercer factor concierne a la colocación de la cintilla de riego, en la cual se establecieron dos niveles: $S_1 = \text{instalado en forma superficial}$ y $S_2 = \text{de forma subsuperficial (a 25 cm de profundidad)}$. Con la combinación de los tres factores se tiene un total de 12 tratamientos (Cuadro 5); cada unidad experimental estará conformada por tres camas o surcos con longitud de 6 m y 0.50 m de ancho.

Cuadro 5. Lista de tratamientos con la combinación de los híbridos de chile serrano, láminas de riego y colocación de la cintilla de riego.

Tratamiento	Hibrido	Lámina Riego	Colocación de Cintilla
$H_1 L_1 S_1$	Camino Real F1	100% etp. max.	Superficial
$H_1 L_1 S_2$	Camino Real F1	100% etp. max.	Subsuperficial
$H_1 L_2 S_1$	Camino Real F1	85% etp. max.	Superficial
$H_1 L_2 S_2$	Camino Real F1	85% etp. max.	Subsuperficial
$H_2 L_1 S_1$	Montero	100% etp. max.	Superficial
$H_2 L_1 S_2$	Montero	100% etp. max.	Subsuperficial
$H_2 L_2 S_1$	Montero	85% etp. max.	Superficial
$H_2 L_2 S_2$	Montero	85% etp. max.	Subsuperficial
$H_3 L_1 S_1$	Arista F1	100% etp. max.	Superficial
$H_3 L_1 S_2$	Arista F1	100% etp. max.	Subsuperficial
$H_3 L_2 S_1$	Arista F1	85% etp. max.	Superficial
$H_3 L_2 S_2$	Arista F1	85% etp. max.	Subsuperficial

5.2.2 Producción de plántula de chile serrano.

La producción de plántula se realizó en invernadero tipo capilla, ubicado dentro de las instalaciones del Cenid – Raspa. Para la siembra se utilizó charola de poliuretano de 200 cavidades con la finalidad de tener plántula de buena calidad morfológica, se depositó una semilla por cavidad para los tres híbridos. El sustrato que se empleó es el “Peat Moss BM2”, el cual favorece una germinación uniforme y un desarrollo rápido de la raíz. Los estándares que debe tener la plántula para trasplante es una altura promedio de 16 a 18 cm y poseer de 5 a 6 pares de hojas verdaderas.

5.2.3 Preparación del terreno.

La preparación del terreno del lote experimental consistió básicamente en barbecho, doble pasó de rastra, empareje del terreno para evitar altos y bajos, trazo de cama o surco, acolchado e instalación de la cintilla de riego. El arreglo topológico del cultivo es de un ancho de cama de 0.50 m y una longitud de 6 m, la separación entre centro de cama es de 1.5 m. Este arreglo es para una densidad de 44,444 plantas por hectárea.

El tipo de plástico que se utilizó como acolchado es de calibre 80 y de color negro con orificios a doble hilera a tres bolillo, con una separación entre hileras de 0.20 m y entre planta de 0.30 m. La cintilla de riego se instaló de dos formas: superficial (S_1) y subsuperficial (S_2) a una profundidad de 0.25 m.

5.2.4 Muestreo de suelo.

El suelo del lote experimental es parte de la serie Coyote, predominante en la región, formada por suelos profundos con textura franco arcillosa. El muestreo se realizó en dos sitios del lote a profundidades de 0-30 y 30-60 cm; con un kilo de tamaño de muestra por profundidad. Las características físicas del suelo que se analizaron: textura; contenido de materia orgánica; capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Lo referente a las propiedades químicas se evaluaron las siguientes: nitrógeno disponible; fósforo; potasio; carbonato total;

conductividad eléctrica; pH; cationes solubles (Ca, Mg, Na y K); aniones solubles (CO₃, HCO₃, Cloruros y Sulfatos); micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn y B); porcentaje de sodio intercambiable; relación de absorción de sodio y capacidad de intercambio catiónico. También se determinò la tasa de velocidad de infiltración básica del suelo, mediante la metodología de cilindros infiltrometros. La ecuación que se utilizó fue la de Kostiakov – Lewis:

$$I = Kt^n \quad (24)$$

Donde I = velocidad de infiltración básica (cm.hr⁻¹); t = tiempo (minutos); K y n son constantes.

5.2.5 Diseño e instalación del sistema de riego por goteo con cintilla.

En base a la topología del cultivo y distribución de los tratamientos, se diseñó el sistema con un gasto de operación de 3420 lt.hr⁻¹ (0.95 lt.sec⁻¹). Se seleccionó una cintilla de riego con separación entre goteros de 30 cm y un gasto por gotero de 1lt.hr⁻¹, esto en base a la textura del suelo predominante en el lote experimental.

La selección de los diámetros de las tuberías de conducción principal y secundaria, se determinó primeramente la pérdida de carga permisible mediante la siguiente expresión matemática:

$$Hf_{perm} = H_o * (1 - 0.9x^{\frac{1}{x}}) \quad (25)$$

Donde Hf_{perm} = pérdida de carga permisible (m.c.a.); H_o = presión de operación del gotero (m.c.a.); x = coeficiente del modelo hidráulico del emisor (adimensional).

Como es de observarse, la pérdida de carga permisible depende principalmente de la presión de operación del gotero. Tradicionalmente se ha empleado el criterio de Keller y Karmelli (1975), de repartir esta pérdida de carga de modo que un 45% se produzca en la tubería terciaria (regante) y un 55% en la

tubería secundaria (distribuidor). Este criterio no permite optimizar los diámetros, pues experimentalmente se puede comprobar que soluciones más económicas que cumplan todos los requerimientos de diseño incrementan el porcentaje de pérdidas de carga que se produce en la tubería secundaria.

Una expresión matemática para determinar el reparto óptimo (R), en función de la separación en la tubería secundaria (s), y el coeficiente de forma de la subunidad (CF), es definido como la relación entre la longitud de la tubería secundaria (L_l), y la terciaria (L_t), Montalvo (2005)

$$CF = \frac{L_l}{L_t} \quad (26)$$

Esta expresión recoge la longitud total de la tubería secundaria y de la terciaria en la subunidad, independientemente de la situación del punto de alimentación.

El reparto óptimo (R), se define como la relación entre las pérdidas de la tubería secundaria en el total de la subunidad.

$$R = \frac{\Delta H_l}{\Delta H_s} \quad (27)$$

Dependiendo del tipo de subunidad proponen dos fórmulas:

a) Tuberías secundarias alimentadas por un extremo:

$$R = \frac{\Delta H_l}{\Delta H_s} = \frac{0.842 * CF^{0.1577}}{s^{0.060}} \quad (28)$$

b) Tuberías secundarias alimentadas por el punto medio:

$$R = \frac{\Delta H_l}{\Delta H_s} = \frac{0.776 * CF^{0.1402}}{s^{0.054}} \quad (29)$$

Al definir el reparto óptimo de la pérdida de carga permisible, se determinaran los diámetros de la tubería principal, secundaria y terciaria, mediante la siguiente fórmula de Manning (Saldivar, 2010).

$$Hf = \frac{10.29 * n^2 * L * Q^2}{D^{16/3}} \quad (30)$$

Donde Hf = pérdida de carga en tubería (m.c.a.); n = coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional); L = longitud de la tubería (m); Q = gasto ($m^3 \cdot seg^{-1}$); y D = diámetro interior de la tubería (m).

Para obtener el coeficiente de rugosidad (n), observar el cuadro 6.

Cuadro 6. Coeficiente de rugosidad de Manning (n) de algunos materiales.

Material	n
Tuberías de PVC	0.0079
Hormigón	0.012
Asbesto – cemento	0.015
Fierro galvanizado	0.017

La potencia del rebombeo se determinará mediante la siguiente expresión matemática (Reyes, 2005):

$$H_p \text{ rebombeo} = \frac{Q * CTD}{76 * Ef_B * Ef_M} \quad (20)$$

Donde Q = gasto bombeado (lt.seg⁻¹); CTD = carga total dinámica (m.c.a.); Ef_B = eficiencia de la bomba; Ef_M = eficiencia del motor.

5.2.6 Trasplante de plántula de chile serrano.

El trasplante se realizó cuando la plántula alcanzó los estándares de trasplante, una altura de planta de 16 a 18 cm y cuando tenía de 5 a 6 hojas verdaderas. Se plantaron alrededor de 60 plantas por unidad experimental, de un total de 48 unidades, así como de nueve unidades que se utilizaron de barrera o protección (Figura 1). Previamente se le dio un riego de establecimiento para formar un bulbo de humedad.

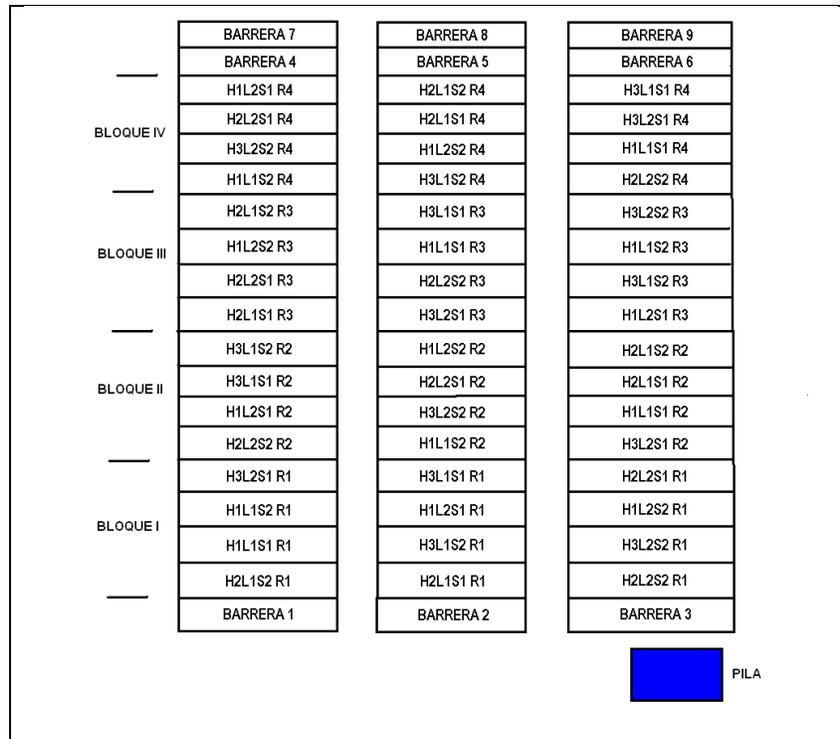


Figura 1. Croquis de la distribución de los 12 tratamientos en los cuatro bloques del lote experimental.

La profundidad del trasplante fue de 8 a 10 cm, la referencia que se tomó para dicha profundidad fue enterrar la planta hasta el primer par de hojas verdaderas.

5.2.7 Programación del Riego.

La programación y aplicación del riego de los tratamientos, se utilizará como herramienta el software "DRIEGO", el cual fue generado por el personal del Cenid – Raspa; INIFAP (Catalán, *et al.* 2005). Este software se basa principalmente el método del balance de la humedad del suelo, el cual consiste en realizar un cálculo, a través del tiempo, de la cantidad de agua presente en el perfil del suelo ocupado por la raíz del cultivo. Previamente a la programación del riego se tuvo la siguiente información, como: textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Esta información es esencial para el funcionamiento del software.

5.2.8 Fertilización del cultivo de chile serrano.

La dosis de fertilización del chile serrano se basó principalmente en la siguiente formulación por hectárea de 220 kg de nitrógeno (N); 90 kg de fósforo (P) como P_2O_5 ; 150 kg de potasio (K); 60 kg de magnesio (Mg); y 30 kg de calcio (Ca). Previamente se muestreó el suelo para un análisis químico a dos estratos de profundidad (0-30 y 30-60 cm), con el propósito de determinar los nutrientes disponibles y suministrar al cultivo solamente el nutriente faltante.

5.2.9 Control fitosanitario del cultivo de chile serrano.

El control de plagas y enfermedades del chile serrano se aplicó una serie de productos químicos y orgánicos, con la finalidad de proteger el cultivo y evitar un daño el cual influya en los resultados de las variables respuestas evaluadas en el experimento.

Las aplicaciones se realizaron con mochila convencional, la mayoría de los productos se aplicaron al atardecer (después de las 6:00 pm), o por la mañana (antes de las 11:00 am), con la finalidad de garantizar una buena eficiencia de aplicación y distribución del producto, para lo cual también se consideró la velocidad y dirección del viento.

5.2.10 Cosecha del chile serrano.

Se tenía programado realizar ocho cortes (cosechas) al cultivo de chile serrano durante todo el ciclo vegetativo. De las cuales se evaluaron las siguientes variables respuesta: rendimiento acumulado y calidad del fruto (longitud, ancho y peso). El primer corte se realizó cuando los frutos presentaron los estándares de calidad para la cosecha, longitud de 4 a 8 cm y el color paso de verde opaco a brillante.

El rendimiento se determinó pesando todos los frutos recolectados de la parcela útil. Con lo referente a la calidad del fruto, se consideró el promedio de los ocho cortes o cosechas para el análisis estadístico.

5.2.11 Análisis estadístico de las variables respuesta.

Para el análisis estadístico de las variables respuesta (rendimiento, longitud, ancho y peso del fruto) se utilizó como herramienta el software SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0. Las funcionalidades de los componentes SAS están destinadas a acceder a través de interfaces de programación de aplicaciones, en la forma de declaraciones y procedimientos. Un programa SAS consta de cuatro partes principales:

1. Los datos de paso.
2. Pasos del procedimiento (efectivamente, todo lo que no está encerrado en un paso DATA).
3. Un lenguaje de macros, una metaprogramación idioma.
4. SAO (Sistema de Suministro) de las declaraciones, que dirigen los conjuntos de salida o datos creados por DATA o pasos del procedimiento en cualquiera de los tipos de archivos diferentes, y aplicar estilos y plantillas para la salida.

El modelo lineal correspondiente al diseño experimental en bloques completamente al azar con arreglo trifactorial, es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + Blo_l + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + e_{ijkl} \quad (21)$$

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c; l = 1, 2, \dots, r.$$

Donde a = número de niveles del factor A ; b = número de niveles del factor B ; c = número de niveles del factor C ; r = número de bloques o repeticiones; Y_{ijkl} = respuesta obtenida en el i -ésimo nivel del factor A , el j -ésimo nivel del factor B y el k -ésimo nivel del factor C , ubicados en el l -ésimo bloque; μ = efecto media general; Blo_l = efecto atribuido al l -ésimo bloque; A_i = efecto atribuido al i -ésimo nivel del factor A ; B_j = efecto atribuido al j -ésimo nivel del factor B ; C_k = efecto atribuido al k -ésimo nivel del factor C ; $(AB)_{ij}$ = efecto atribuido a la interacción entre el i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B ; $(AC)_{ik}$ = efecto atribuido a la interacción entre el i -ésimo nivel del factor A y el k -ésimo nivel del factor C ; $(BC)_{jk}$ = efecto atribuido a la interacción entre el j -ésimo nivel del factor B y el k -ésimo nivel del factor C ; $(ABC)_{ijk}$ = efecto atribuido a la interacción entre el i -ésimo nivel del factor A , el j -ésimo nivel del factor B y el k -ésimo nivel del factor C ; e_{ijkl} = término de error aleatorio, el cual tiene una distribución normal e independiente con media igual a cero y varianza (σ^2).

Simplificando las interacciones el modelo lineal queda reducido de la siguiente forma:

$$Y_{ijkl} = \mu + Blo_l + A_i + B_j + C_k + INTER1 + INTER2 + INTER3 + INTER4 + e_{ijkl} \quad (22)$$

Donde $INTER1$ = es la interacción del factor A y el factor B ; $INTER2$ = es la interacción del factor A y el factor C ; $INTER3$ = es la interacción del factor B y el factor C ; $INTER4$ = es la interacción entre el factor A , factor B y factor C .

Las hipótesis probadas fueron las siguientes:

$$1) H_0: a_1 = a_2 = a_3$$

vs

H_a : Al menos un nivel de a , produce un efecto diferente al de los demás.

$$2) H_0: b_1 = b_2$$

vs

$$H_a: b_1 \neq b_2$$

$$3) H_0: c_1 = c_2$$

vs

$$H_a: c_1 \neq c_2$$

4) H_0 : Todas las interacciones $a_i b_j$ tienen el mismo efecto.

vs

H_a : Al menos una interacción $a_i b_j$ produce un efecto diferente al de las demás.

5) H_0 : Todas las interacciones $a_i c_k$ tienen el mismo efecto.

vs

H_a : Al menos una interacción $a_i c_k$ produce un efecto diferente al de las demás.

6) H_0 : Todas las interacciones $b_j c_k$ tienen el mismo efecto.

vs

H_a : Al menos una interacción $b_j c_k$ produce un efecto diferente al de las demás.

7) H_0 : Todas las interacciones $a_i b_j c_k$ tienen el mismo efecto.

vs

H_a : Al menos una interacción $a_i b_j c_k$ produce un efecto diferente al de las demás.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 Rendimiento de fruto en verde.

El análisis de datos se analizó con el estadístico SAS. Los rendimientos totales de los ocho cortes o cosechas de los tres híbridos de chile serrano. El rendimiento más alto ($P \leq 0.05$) se logró en el tratamiento $H_3L_1S_2$ híbrido Arista F1; lámina de riego de 105.1 cm y colocación de la cintilla subsuperficial (enterrada a los 25 cm del nivel del suelo). El rendimiento de fruto verde promedio fue de 39.5 $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Cuadro 7). El rendimiento más bajo se registró en el tratamiento $H_2L_2S_1$ híbrido Montero; lámina de riego aplicada de 97.2 cm y colocación de cintilla superficial (a nivel del suelo), con un rendimiento promedio de 28.1 $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$.

El tratamiento $H_3L_1S_2$ presento un incremento en rendimiento del 86% con respecto a la media de la producción del estado (Coahuila), la cual fue de 26.7 $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ (SIAP, 2010).

Cuadro 7. Rendimiento de fruto en verde (ton.ha⁻¹) de tres híbridos de chile serrano bajo dos niveles de riego y diferente colocación de cintilla.

	<i>L</i> ₁		<i>L</i> ₂		\bar{x}
	<i>S</i> ₁	<i>S</i> ₂	<i>S</i> ₁	<i>S</i> ₂	
<i>H</i> ₁	44.4 ab	44.1 ab	36.2 Bcd	41.5 abc	41.5 a
<i>H</i> ₂	34.6 bcd	37.1 bcd	28.1 D	31.6 cd	32.8 b
<i>H</i> ₃	44.3 ab	49.6 a	39.9 Abcd	42.7 abc	44.1 a
\bar{x}	41.1 b	43.6 a	34.7 B	38.6 a	39.5
\bar{x}	42.3 a		36.6 b		

*H*₁ = Camino Real F1; *H*₂ = Montero; *H*₃ = Arista F1; *L*₁ = nivel de riego alto (105.1 cm); *L*₂ = nivel de riego bajo (97.2 cm); *S*₁ = cintilla superficial; *S*₂ = cintilla subsuperficial.

Coefficiente de variación (C.V.) = 12.1%.

Letras iguales en una columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Los rendimientos de chile en verde obtenidos en los tres híbridos, fueron iguales entre el híbrido Arista F1 y Camino Real F1, pero ambos fueron superiores al híbrido Montero (P≤0.05). El Arista F1 presentó un incremento de rendimiento de 6.2% con respecto al Camino Real F1, que representa una productividad de 2.6 ton.ha⁻¹. En lo referente a rendimiento de chile verde alcanzado con los dos niveles de riego, estos fueron totalmente diferentes entre sí (P≤0.05), el nivel *L*₁(105.1cm), obtuvo mayor rendimiento promedio con un incremento aproximado de 15% con respecto al nivel *L*₂. Por lo que, reducir la lámina de riego a un 15% de la evapotranspiración del chile serrano, afecta su rendimiento potencial alrededor de un 15%.

Los rendimientos de chile en verde obtenidos en las dos colocaciones de cintilla fueron diferentes entre sí ($P \leq 0.05$), siendo el nivel S_2 , el que presentó mayor rendimiento que el nivel S_1 con un 8.4% de mayor productividad.

6.2 Eficiencia en uso de agua (EUA) del chile serrano.

El tratamiento que presento mejor eficiencia en uso de agua ($P \leq 0.05$) fue el tratamiento $H_3L_1S_2$, que presento el mayor rendimiento de fruto en verde. La eficiencia en uso de agua promedio fue de 3.89 kg.m^{-3} (Cuadro 10). La eficiencia más baja se presentó en el tratamiento $H_2L_2S_1$ con 2.88 kg.m^{-3} .

El tratamiento $H_3L_1S_2$ fue más eficiente con un 43.8% con respecto al tratamiento que obtuvo el valor más bajo en eficiencia de uso de agua.

Cuadro 8. Eficiencia en uso de agua (kg.m^{-3}) de tres híbridos de chile serrano bajo dos niveles de riego y diferente colocación de cintilla.

	L_1		L_2		\bar{x}
	S_1	S_2	S_1	S_2	
H_1	4.23 Ab	4.19 ab	3.72 abc	4.27 abc	4.10 a
H_2	3.29 Bc	3.53 bc	2.88 c	3.25 bc	3.23 b
H_3	4.21 Ab	4.71 a	4.10 ab	4.40 ab	4.35 a
\bar{x}	3.91 B	4.14 a	3.56 b	3.97 a	3.89
\bar{x}	4.02 a		3.76 A		

H_1 = Camino Real F1; H_2 = Montero; H_3 = Arista F1; L_1 = nivel de riego alto (105.1 cm); L_2 = nivel de riego bajo (97.2 cm); S_1 = cintilla superficial; S_2 = cintilla subsuperficial. Coeficiente de variación (C.V.) = 12.0%.

Letras iguales en una columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

La eficiencia en uso de agua fue diferente entre los híbridos evaluados, los híbridos Arista F1 y Camino Real F1 presentaron similitud en eficiencia pero diferente al híbrido Montero.

La eficiencia en uso de agua obtenidos en las dos colocaciones de cintilla fueron diferentes entre sí ($P \leq 0.05$), el mejor valor se registró en el nivel de cintilla subsuperficial S_2 con un calor de 4.14 (Cuadro 8).

6.3 Calidad del fruto.

La calidad del fruto se determinó en base a: longitud, ancho y peso de fruto. Lo cual se realizó en 10 chiles en cada tratamiento, y bloque.

6.3.1 Longitud de fruto.

La longitud de fruto más alta se presentó en el tratamiento $H_3L_1S_2$ con un valor de 7.94 cm ($P \leq 0.05$). La menor longitud fue de 4.85 cm, y se presentó en el tratamiento $H_2L_2S_2$ (Cuadro 9). El tratamiento $H_3L_1S_2$ presento un incremento en longitud de fruto de 64% con respecto al tratamiento que presento la menor longitud promedio de fruto.

La longitud de fruto presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los tres factores evaluados: híbridos, nivel de riego y colocación de cintilla (Cuadro 9). La longitud de fruto en los tres híbridos de Chile fue diferente entre sí. El híbrido Arista F1, presentó la mayor longitud de fruto con un valor de 7.65 cm. En niveles de riego, el nivel L_1 presento el mayor valor con 6.09, presentando mejor longitud de fruto con un incremento aproximado de 2.2% con respecto al nivel L_2 con un valor de 5.97.

Cuadro 9. Longitud de fruto (cm) de tres híbridos de chile serrano bajo dos niveles de riego y diferente colocación de cintilla.

	L_1		L_2		\bar{x}
	S_1	S_2	S_1	S_2	
H_1	5.64 c	5.49 c	5.61 c	5.44 cd	5.55 b
H_2	4.95 de	4.94 de	4.92 de	4.85 e	4.91 c
H_3	7.64 ab	7.94 a	7.34 b	7.69 ab	7.65 a
\bar{x}	6.07 b	6.12 a	5.95 b	5.99 a	6.03
\bar{x}	6.09 a		5.97 a		

H_1 = Camino Real F1; H_2 = Montero; H_3 = Arista F1; L_1 = nivel de riego alto (105.1 cm); L_2 = nivel de riego bajo (97.2 cm); S_1 = cintilla superficial; S_2 = cintilla subsuperficial.

Coefficiente de variación (C.V.) = 3.5%.

Letras iguales en una columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Los tres híbridos evaluados presentaron diferencia en longitud siendo el híbrido Arista F1 el que presentó mayor longitud con 7.65 cm, superando al híbrido Camino Real con 5.55 cm y superior al híbrido Montero, en el cual la longitud fue de 4.91 cm.

6.3.2 Ancho de fruto.

El mejor ancho de fruto se registró en el tratamiento $H_3L_1S_2$, con un valor de 1.56 cm (Cuadro 10). El ancho promedio más bajo fue de 1.31 cm, presentándose en el tratamiento $H_1L_2S_2$. El mejor tratamiento presentó un incremento en ancho de fruto de 19% con respecto al tratamiento que registro el menor ancho de fruto.

El ancho de fruto fue diferente en los tres híbridos evaluados siendo el Arista F1 quien presento el mejor ancho con 1.51 mayor que el hibrido Montero con un ancho de 1.46 cm y superior al hibrido Camino Real F1 con 1.34 de ancho.

Cuadro 10. Ancho de fruto (cm) de tres híbridos de chile serrano bajo dos niveles de riego y diferente colocación de cintilla.

	L_1		L_2		\bar{x}
	S_1	S_2	S_1	S_2	
H_1	1.36 de	1.37 cde	1.33 e	1.31 e	1.34 c
H_2	1.46 abcd	1.45 bcd	1.46 abcd	1.47 abc	1.46 b
H_3	1.50 ab	1.56 a	1.47 abc	1.52 ab	1.51 a
\bar{x}	1.44 a	1.46 a	1.42 a	1.43 a	1.43
\bar{x}	1.45 a		1.42 a		

H_1 = Camino Real F1; H_2 = Montero; H_3 = Arista F1; L_1 = nivel de riego alto (105.1 cm); L_2 = nivel de riego bajo (97.2 cm); S_1 = cintilla superficial; S_2 = cintilla subsuperficial.

Coefficiente de variación (C.V.) = 2.9%.

Letras iguales en una columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

6.3.3 Peso de fruto.

El peso de fruto en los híbridos evaluados fue diferente. En el híbrido Arista F1 fue 8.28 gr, mayor que el híbrido Montero con 4.99 gr, pero superior al híbrido Camino real con 4.69 gr.

El mejor de peso de fruto se registró en el tratamiento $H_3L_1S_2$, con un 8.93 gr (Cuadro 11). El peso más bajo fue de 4.47 gr, el cual se presentó en el tratamiento $H_1L_2S_2$. El mejor tratamiento presentó un incremento en peso de fruto de 99.7% con respecto al más bajo de los tratamientos.

El peso de fruto presento diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en los factores: híbrido y niveles de riego (Cuadro 11). El peso de fruto obtenido en los tres híbridos de Chile fue diferente entre sí. El híbrido Arista F1, presentó el mejor peso de fruto, el cual fue de 8.28 gr. Este valor es mayor en un 71% con respecto al peso de los híbridos Montero y Camino Real F1. Con respecto a los niveles de riego, el peso de Chile obtenido fue diferente, donde el nivel L_1 presentó el mejor valor con 6.15 gr.

Cuadro 11. Peso de fruto (gr) de tres híbridos de chile serrano bajo dos niveles de riego y diferente colocación de cintilla.

	L_1		L_2		\bar{x}
	S_1	S_2	S_1	S_2	
H_1	4.78 c	4.93 c	4.60 c	4.47 c	4.69 c
H_2	5.06 c	4.98 c	5.03 c	4.90 c	4.99 b
H_3	8.23 ab	8.93 a	7.59 b	8.39 ab	8.28 a
\bar{x}	6.02 a	6.28 a	5.74 a	5.92 a	5.99
\bar{x}	6.15 a		5.83 a		

H_1 = Camino Real F1; H_2 = Montero; H_3 = Arista F1; L_1 = nivel de riego alto (105.1 cm); L_2 = nivel de riego bajo (97.2 cm); S_1 = cintilla superficial; S_2 = cintilla subsuperficial.

Coefficiente de variación (C.V.) = 7.2%.

Letras iguales en una columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

VIII. CONCLUSIÓN.

El mayor rendimiento, calidad y uso eficiente del agua del cultivo del chile serrano bajo los factores de híbrido, colocación de cintilla y lamina de riego se obtuvieron en el híbrido arista, con cintilla subsuperficial y lamina de riego al 100% de la evapotranspiración.

Por lo tanto, se recomienda establecer en la región el material Arista F1, programando el riego al 100% de su evapotranspiración, así como colocar la cintilla de riego de forma subsuperficial, o sea, a una profundidad del suelo de 25 cm, todo esto, con la finalidad de obtener los mejores rendimientos y calidad de fruto del chile serrano, con el propósito de incrementar la productividad del cultivo y un manejo sustentable del recurso agua.

VI.- LITERATURA CITADA

- Anaya R., S., Romero N., J. 1999. Hortalizas. Plagas y enfermedades. Editorial trillas, s.a de c.v. México, d.f. pp. 40-44; 128-131; 149-162.
- Asawa, G.L. (2008). Irrigation and water resources engineering. newage international (p) limited, publishers. p 623.
- Baños, A.S, Cabrera 1991, el pimiento editorial mundi prensa.
- Benjamín de león 2008, manual para diseño de zonas de riego pequeñas Jiutepec, Morelos: instituto mexicano de tecnología del agua.
- Burt, C., O'connor, K., Ruehr, T. (1998). Fertigation. Irrigation training and research center. California polytechnic state univ, San Luis Obispo, ca.
- Burton, M. (2010). Irrigation management principles and practices. isbn:978-1-84593-516-0.
- Cano A, F.M. 1998. Potencial exportable de chiles en fresco, de una zona libre de plagas. <http://www.monografias.com/trabajos/cultivochiles/cultivochiles.shtm/>
- Castaños C. M 1993. Horticultura manejo simplificado edición de la universidad autónoma de chapingo México.
- Catalán, V. E. A. 2005. Aplicación computacional en red para la estimación de las demandas de agua y la calendarización de los riegos de los cultivos en los distritos de riego del país. Revista: Agrofaz 5.
- Cisneros A. R. 2003. Apuntes de la materia de riego y drenaje. Centro de investigación y estudios de posgrado y área agro geodésica. Universidad autónoma de san luía potosí. San Luís Potosí, México.
- Comisión Nacional del Agua 2010, estadísticas agrícolas de los distritos de riego año agrícola 2008-2009.

- De la Peña, Ildelfonso. 1987. manual del uso y manejo del agua de riego. Patronato para la producción y extensión agrícola y ganadera. cd. obregón, sonora, México.
- Delgado, R.G., M.M. Villa C., M.A. Inzunza I., E.A. Catalán V., y A. Román I. 2012. Efecto de tres soluciones nutritivas en la calidad de plántula de tres híbridos de chile serrano. Memoria. Congreso nacional de la ciencia del suelo. Realizado en la ciudad de zacatecas, zacatecas, México.
- Ernesto A. Catalán Valencia, Ma. Magdalena Villa Catorena et al., agosto del 2007 fertilización y riego del cultivo de chile en la región lagunera, folleto técnico 9 inifap cenid raspa Gómez Palacio Durango.
- FAO riego y drenaje 2006 evapotranspiración del cultivo <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf> fecha de consulta 25 de enero 2013.
- FAO. 2008. propuestas de nuevos trabajos para normas del codex sobre el chile fresco y el ajo. 14a. reunión del comité del codex sobre frutas y hortalizas frescas. México, d.f. México.
- Francisco I Álvarez, Luis F. López 2005, manual de apoyo riego e hidrometría <http://es.scribd.com/doc/42792103/9/c-determinacion-de-la-lamina-neta-de-riego-zamorano-honduras> fecha de consulta 20 de febrero del 2013.
- Fupronay, 2005, chile serrano (guía para la asistencia técnica agrícola de Nayarit) <http://www.fupronay.org.mx/guia%20tecnica/guia/archivospdf/chile%20serrano.pdf> fecha de consulta 05 de febrero del 2013
- García Hernández, Martha Alejandra, et al, variación de la velocidad de infiltración mediante en seis ecosistemas inalterados revista terra latinoamericana, vol. 26, núm. 1,

- García, E. 1970. Modificaciones al sistema de clasificación climática de koppen (adaptado a las condiciones de la república mexicana). Instituto de geografía de la UNAM, para la comisión de estudios del territorio nacional.
- Guenkov.1987 fundamentos de la horticultura cubana. Instituto cubano del libro 2ª ed. la habana cuba.
- <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article7381>. fecha de consulta 06 de enero 2013
- Infoagro, 2003. El cultivo del pimiento <http://www.infoagro.com/hortalizas/pimientos.asp>.
- Inforural 06 de julio del 2010 <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article61383> México: primer lugar mundial en producción de chile verde y sexto en la de chile seco fecha de consulta 13/ de enero 2013.
- Inifap (fecha de consulta 6/01/13) tecnología de producción para el cultivo de chile serrano con ferti-irrigación en la zona media de san Luis potosí.
- José Pinto Villanueva 2009, método de riego por gravedad <http://es.scribd.com/doc/22188868/riego-por-gravedad> fecha de consulta 21 de febrero del 2013.
- Keller, J., y Karmelli, D. 1975. Trickle irrigation design. Rain bird sprinkler Manufacturing Corporation. California, e.e.u.u.
- Lacasa P., A. y J. Contreras G. 2001. Las plagas. pp. 387-463. en: f. nuez (ed). el cultivo de tomate. Ediciones mundi-prensa. México.
- Lowndes N k, M Banara, P W Bosland (1994) postharvest water loss and storage quality of nine pepper (*capsicum*) cultivars. *hortscience* 29:191-193.
- Lusur, Luis 2006, manual del cultivo del chile: una guía paso a paso, México: trillas, 2006.

Martínez Z G, J R A Dorantes, M Ramírez, (2005) efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. Rev. fitotec. Mex. 28:327-332..

Mata Vázquez Horacio, Vázquez García Enrique, Ramírez Meraz Moisés y Phathistan Pérez Juan, fertirrigación de chile serrano con riego por goteo en el sur de Tamaulipas Inifap villa Cuauhtémoc, Tamaulipas diciembre de 2010 libro técnico número 2

Megh R. Goyal y Eladio A. González Fuentes, 2006 capítulo III evapotranspiración http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/gota2006/cap03evaporacion.pdf fecha de consulta 20 de febrero del 2013.

Miliarium 2004, evapotranspiración métodos empíricos. http://www.miliarium.com/proyectos/estudioshidrogeologicos/anejos/metodos_determinacion_evapotranspiracion/metodos_empiricos/metodosempiricos2.asp, fecha de consulta 16 de febrero del 2013.

Montalvo, I. t. 2005. Riego localizado diseño de instalaciones. Editorial: pulp ediciones. Valencia, España.

Nuez F., R., G. Ortega y J. Costa 1996 el cultivo de pimientos., chiles y ajíes. Ediciones mundi-prensa. Madrid, España. pp. 94-105, 117-122.

Pérez, C. L. M., G. Castañón N., y N. Mayek p. 2008. Diversidad morfológica de chiles (*capsicum spp.*) en Tabasco, México. Rev. cuad. Biodiversidad.

Plasticulture (2010). Plastic technologies drip irrigation. <Http://plasticulture.psu.edu/?q=node/1> (Julio, 2010).

Pozo Campodónico, 1981. Descripción y tipos de cultivares de chile (*capsicum spp*) en México; folleto técnico número 77 octubre 1981 inia, sa4rh , México df.

- Ramírez, 2002 el chile <http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio-espanol/doctos/chile.htm/>.
- Ramírez, M. M. (2006). Híbridos de chile serrano para las regiones productoras de México. Desplegable para productores no. 3. Instituto nacional de investigaciones, forestales y pecuarias.
- Reyes, G. R. 2005. Ahorro de energía eléctrica en equipos de bombeo mediante ajustes electromecánicos. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.
- Rincón S. y F. Zavala G. (eds). 2000. recursos fitogenéticos de México para la agricultura, informe nacional. Snics y somefi a. c. Chapingo, México.
- Rodríguez, M. R 1988 estudio preliminar sobre el mosaico del chile en la región del bajío, tesis c.p Chapingo, México.
- SAGARPA 2012, estimación de las demandas de consumo de agua, http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/noticias/2012/documents/fichas%20tecnicas%20e%20instructivos%20nava/instructivo_demandas%20de%20agua.pdf, fecha de consulta 06 de febrero del 2013.
- Zaldívar, C. O. 2010. Metodología de cálculo para determinar el gasto promedio extraído de un pozo profundo. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.
- Sánchez C., M. 2001. Manejo de enfermedades del tomate in: curso del incapa “manejo integrado de plagas y enfermedades en tomate, chile y papa”. Guadalajara. Jalisco México. pp 22-38.
- Sas Institute. 2002. sas/stat user's guide. Versión 9.0 edition. Cary, nc, e.e.u.u.
- Universidad Autónoma de Chapingo 2009 departamento de parasitología agrícola, el cultivo del chile serrano en González, Tamaulipas <http://es.scribd.com/doc/16458110/manual-para-producir-chile-serrano> Fecha de consulta, 08 de febrero del 2013.
- Valadez J A. 1992 producción de hortalizas ed. limusa. México pp 67-168.
- Valadez L. A, 1994. Producción de hortalizas ed. limusa 4ª ed. México.

Wilk, p., Carruthers, G., Mansfield, c., hood, v. (2009). Primefact 827. Irrigation and moisture monitoring in blueberries. Profitable & sustainable primary industries.

Zapata N. M. et al; 1992 el pimiento. Editorial Acribia España.