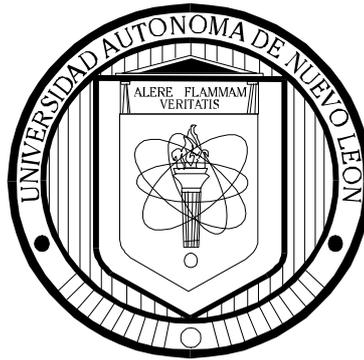


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**COMPARACIÓN EN LA RESPUESTA FISIOLÓGICA EN PLANTAS DE CHILE
BAJO EL EFECTO DE TRES TEMPERATURAS NOCTURNAS**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

P R E S E N T A

JUAN CARLOS ANGUIANO BARRALES

Marín, N.L.

Abril de 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**COMPARACIÓN EN LA RESPUESTA FISIOLÓGICA EN PLANTAS DE CHILE
BAJO EL EFECTO DE TRES TEMPERATURAS NOCTURNAS**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

JUAN CARLOS ANGUIANO BARRALES

Marín, N.L.

Abril de 2010

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR

Ph.D. Francisco Zavala García
Asesor Principal

Dra. Adriana Gutiérrez Díez
Co-Asesor

M.C. Eduardo A. García Zambrano
Co-Asesor

Dr. Rubén López Cervantes
Co-Asesor Externo

PhD. Francisco Zavala García
Subdirector de estudios de posgrado e investigación

DEDICATORIA

Al ser más grande, a nuestro Señor:

Por darme la fortaleza necesaria de superar los obstáculos y verlos como estímulos y no como adversidades; por la capacidad intelectual y la humildad ante la sociedad; porque ha sido mi sostén espiritual y físico, por sobre todas las cosas.

A mis padres:

Rodolfo Anguiano Méndez
Alma Delfina Barrales Ramírez

Con todo el cariño y respeto que se merecen, por ser mi guía, mi ilusión y mi razón de ser, por los principios y la moral que me acontecen. Dios los bendiga, los proteja y los conserve.

A mis hermanos:

Rodolfo Alberto Anguiano Barrales,
Roberto Alejandro Anguiano Barrales y
Héctor Ángel Anguiano Barrales.

A ustedes hermanos, por el apoyo emocional y moral; con todo el cariño, Dios los bendiga y los proteja. Con orgullo por la enorme fortuna de tener a esta familia.

En especial a Amada Gonzales Cruz

Con todo el respeto por ser una persona emotiva, gracias por tu apoyo, comprensión y cariño incondicional, Dios te bendiga y a tu familia.

A mi sobrina

Elisa Valeria Anguiano Hernández con todo el cariño.

A mis cuñadas

Dra. Adriana Montero De Anguiano

Lic. Antonia Martínez De Anguiano

AGRADECIMIENTOS

A la **Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL)**, con todo el cariño y respeto.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)**.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico para el proyecto de investigación.

A **Harris Moran Seed.**, por facilitarnos el material genético de Chile.

Al Sr. Samuel Garza y la Ing. Gloria Estrella del rancho "**El gigante**" por el apoyo brindado y facilitarnos sus instalaciones.

Al comité de Asesores:

Dr. Francisco Zavala García, por su apoyo, guía y su valiosa participación de este proyecto, agradezco su infinita amistad y confianza.

M.C. Eduardo A. García Zambrano, por el apoyo absoluto, sus puntos de vista y colaboración para este trabajo, además su amplio sentido de motivación, agradezco su confianza.

Dra. Adriana Gutiérrez Diez, por su valiosa aportación y sugerencias en esta investigación.

Dr. Rubén López Cervantes, por su participación y aportaciones en la conformación de esta investigación, además de la amistad que nos avala.

A los profesores - investigadores, que de alguna manera influyeron en la formación académica dentro del programa.

Al cuerpo de secretariado: Juany Pineda, Rosy, Chelita.

Al cuerpo técnico de campo y del laboratorio: Javier, Lalo, Rogelio.

A mis compañeros y amigos

Armando Abreu Baños, Laura Pérez Sánchez., Oscar Gonzales, Lupita, Areli Negrete, Nelly Ramos, Ramiro Rodríguez Álvarez, Adriana Legorreta Millán, Fidel Blanco Macías, Pedro Almaguer Sierra, Luis Samaniego Moreno, Jesús García Olivares, Rosalinda Santos Garza, José Romualdo Martínez, Leticia Alcalá, Francisco Piñera, Blanca Adriana García, Cesar Enrique Guerrero, Argelio Santos Haliscak, Judith A. Villasana, Salvador Salcedo Herrera, Ricardo Requejo López.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	xii
RESUMEN	xviii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	6
1.2. Hipótesis	6
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. Origen y distribución.....	7
2.2. Clasificación y taxonomía.....	10
2.3. Características botánicas.....	11
2.4. Requerimientos edafoclimáticos.....	16
2.4.1. Suelo.....	16
2.4.2. Temperatura.....	17
2.4.3. Humedad.....	17
2.5. Siembra.....	18
2.6. Obtención de plántula.....	19
2.7. Fertilización.....	21
2.8. Plagas y enfermedades de importancia.....	23
2.8.1. Plagas.....	23
2.8.2. Enfermedades.....	24
2.9. Rendimiento.....	25
2.10. Cosecha y manejo.....	26

2.11. Clasificación de fruto.....	27
2.12. Ambiente y adaptación.....	28
2.13. Efecto de temperatura en las plantas.....	29
2.14. Fotosíntesis.....	37
2.15. Respiración.....	39
2.16. Transpiración.....	40
2.17. Estomas.....	42
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
3.1. Localización geográfica del experimento.....	44
3.2. Características generales del área.....	44
3.3. Material biológico	45
3.4. Materiales y equipo.....	45
3.5. Preparación del sustrato.....	46
3.5.1. Llenado de charolas.....	47
3.5.2. Preparación de la semilla y siembra.....	47
3.5.3. Fertilización.....	47
3.5.4. Establecimiento de los genotipos.....	48
3.6. Variables de estudio.....	49
3.6.1. Altura.....	49
3.6.2. Fotosíntesis.....	50
3.6.3. Transpiración.....	50
3.6.4. Densidad estomática.....	51
3.6.5. Extracción de Clorofila.....	52
3.6.6. Prueba de resistencia de temperatura de la membrana celular.....	53
3.7. Análisis estadísticos.....	54
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. Altura de planta.....	57
4.2. Densidad estomática total.....	60
4.3. Conductancia.....	65
4.4. Transpiración.....	68

4.5. concentración de clorofila a y b.....	71
4.6. Fotosíntesis.....	74
4.7. Estabilidad de la membrana celular.....	76
5. CONCLUSIONES.....	81
6. BIBLIOGRAFÍA.....	82
7. APÉNDICE.....	100
8. ANEXOS.....	120

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Elementos necesarios en las etapas fenológicas para el cultivo de chile.	22
2. Material genético de chile que se sembró en Marín N. L.....	45
3. Temperaturas mínima y máxima, promedio de 75 días durante los tratamientos de temperaturas nocturnas del experimento.....	49
4. Concentrado de los cuadrados medios de los análisis de varianza para: altura de planta (APF), densidad estomática total (DET), conductancia (COND) y transpiración (TRAN). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	56
5. Concentrado de los cuadrados medios de los análisis de varianza para: de clorofila a (CLRa), clorofila b (CLRb), fotosíntesis (FOT) y el porcentaje daño de la membrana celular (DAÑO). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	57
6. Medias entre genotipos y temperaturas de la variable altura de planta final (APF). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	58

7. Medias para la variable densidad estomática total (mm^2) en el haz, envés y total de los genotipos evaluados. Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	61
8. Medias del haz, envés y frecuencia estomática total para temperaturas. Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	63
9. Comparación de medias entre genotipos de la variable conductancia estomática (COND). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	65
10. Comparación de medias entre genotipos de la variable transpiración (TRANS). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	68
11. Comparación de medias para temperaturas de la variable transpiración (TRANS). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	69
12. Comparación de medias en la concentración de clorofila a (CLRa) y clorofila b (CLRb) entre los tipos de chile. Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	72
13. Comparación de medias de concentración de clorofila a (CLRa) y b (CLRb) para temperaturas. Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	63

14. Comparación de medias entre genotipos de la variable fotosíntesis (FOT). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	74
15. Comparación de medias entre genotipos y temperaturas de la variable estabilidad de la membrana celular (DAÑO). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Promedio de Altura de planta final, de los tipos de chile establecidos. Respuesta fisiológica en plantas de diferentes especies de chile, bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	60
2. Promedio del número de estomas por unidad de superficie (DEH y DEE). Respuesta fisiológica en plantas de diferentes especies de chile, bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	64

ÍNDICE DE APÉNDICE

Apéndice	Página
1. Análisis de varianza para la variable altura de planta final (APF). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	102
2. Análisis de varianza para la variable densidad estomática del haz (DEH). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	102
3. Análisis de varianza para la variable densidad estomática del envés (DEE). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	103
4. Análisis de varianza para la variable densidad estomática total (DET). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	103
5. Análisis de varianza para la variable clorofila a (CLRa). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	104
6. Análisis de varianza para la variable clorofila b (CLRb). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	104
7. Análisis de varianza para la variable conductancia estomática (COND). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	105

8. Análisis de varianza para la variable fotosíntesis (FOT). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	105
9. Análisis de varianza para la variable resistencia estomática (RES). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	106
10. Análisis de varianza para la variable transpiración (TRANS). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	106
11. Análisis de varianza para la variable estabilidad de la membrana celular (DAÑO). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.....	107
12. Medias para altura 1 de planta a los 20 días después del transplante.....	108
13. Media para altura 2 de planta a los 40 días después del transplante.....	109
14. Medias para altura 3 de planta a los 68 días después del transplante.....	110
15. Medias para Fotosíntesis en los tipos de chile, bajo efecto de temperatura alta.....	111
16. Medias para Fotosíntesis en los tipos de chile, bajo efecto de temperatura ambiente.....	112

17. Fotosíntesis en los tipos de chile, bajo efecto de temperatura baja.....	113
18. Medias para transpiración en los tipos chile, bajo efecto de temperaturas nocturnas	114
19. Medias para clorofila en los tipos chile, bajo efecto de alta temperaturas nocturnas	115
20. Medias para clorofila en los tipos chile, bajo efecto de temperatura ambiente.....	116
21. Medias para clorofila en los tipos chile, bajo efecto de baja temperatura nocturna.....	117
22. Medias para densidad estomática en los tipos de chile, bajo efecto de temperaturas nocturnas.	118
23. Medias para estabilidad de la membrana celular en los tipos de chile, en respuesta a temperaturas nocturnas.....	119

1. INTRODUCCIÓN

El chile, incluyendo todas las especies del género *Capsicum*, es uno de los cultivos hortícolas de mayor impacto para el desarrollo económico y social a nivel nacional. Además de su valor como producto, nuestro país se distingue no solo por tener la mayor diversidad de chiles en el mundo, sino por que también es cultural y tradicionalmente importante al consumo popular, además de que es considerado dentro de la dieta de los mexicanos, ya sea como consumo en fresco o industrializado.

La importancia del cultivo del chile en México se deriva, tanto por la extensa superficie establecida, como por su amplio consumo en el medio rural y urbano; además, posee propiedades medicinales, cosmetológicas y como componentes en la elaboración de insecticidas. Por otro lado, goza de una alta preferencia y consumo en la población, posee una gran versatilidad para la industria: salsas, cocinados, encurtidos, triturados o pulverizados; ahora, con la extracción de oleorresinas potencialidades que engloba al aroma, sabor, aceites esenciales; características que dan lugar al picor (capsaicina y otros alcaloides), color (carotenos) y olor (pirazinas).

En nuestro país se siembran 512 000 ha de hortalizas de diferentes especies, lo que equivale a un 3.5% de la superficie agrícola nacional; de las 49 especies hortícolas que se producen a nivel comercial en México, el 57 % se concentra en los estados de Sinaloa, Guanajuato, Sonora, Querétaro, Estado de México, Baja California, Jalisco y Morelos.

El chile, tiene una importante participación en el sector de las hortalizas. En la década pasada, el cultivo de chile alcanzó el primer lugar en superficie cosechada y el tercero en volumen de producción de las hortalizas más representativas (tomate, papa, chile, etc.). Es importante destacar que en este cultivo se incrementó el consumo mundial en un 12% durante el mismo periodo. La superficie de siembra con chile en México esta creciendo a un ritmo de 9.5 a 12% anual; se siembran entre 140 y 170 mil ha, con una producción de alrededor de 1.6 millones de toneladas con un valor estimado de 581; 238,095 dólares (SIEA-SAGARPA, 2004).

A nivel mundial, esta hortaliza se encuentra entre las siete que más se producen con 25 millones de toneladas en una superficie de 1;696,891 ha. El país con mayor producción a nivel mundial es China, con 12.5 millones de toneladas, lo que representa el 51% del total; México ocupa el segundo lugar en la producción de esta hortaliza con un total de 1.853 millones de toneladas que representa el 7.4 % de la producción total mundial en 140,693 ha (FAOSTAT, 2006).

Algunos problemas asociados a la baja productividad del cultivo del chile se encuentran: 1). El uso de materiales nativos o variedades criollas, 2). La falta de un

sistema para producir plántula sana y de buena calidad para el trasplante, 3). El manejo inapropiado del cultivo, 4). La falta de control de malezas, 5). La susceptibilidad a plagas y enfermedades entre otros. Entre los problemas mencionados, los mayores retos a los que se enfrenta el productor de plántulas es la obtención de un producto sano y de excelente calidad para el trasplante, lo que es necesario conocer cuales son los problemas que pueden presentarse durante su proceso de producción.

Muchos productores que se dedican a la producción de hortalizas de manera comercial, han mostrado un notable avance tecnológico al pasar del uso de los sistemas de producción en almácigos al empleo de los invernaderos para la propagación de plántulas, esto último con el fin de eficientizar la materia prima, principalmente la semilla, debido a los altos costos en la adquisición de la misma. Además, algunos motivos por el cual han cambiado la siembra directa por el trasplante, es por que se obtienen poblaciones más homogéneas, cosechas tempranas y maduración uniforme de las plantas; factores que impactan en los costos de producción.

Sin embargo, existen otros factores que obstaculizan la producción de esta hortaliza. Tomando en cuenta las condiciones agroecológicas cambiantes (clima, edáficas, etc.), dentro del factor clima, la temperatura juega un papel primordial en todo proceso de vida de la planta; los materiales genéticos comúnmente utilizados y expuestos ante este factor, reciben un efecto y presentan una respuesta de manera inmediata, teniendo un cambio en su expresión fenotípica. Estos materiales, se cree

podieran tener un crecimiento más estable al evitar efectos extremos de temperaturas; es decir, que al exponer los genotipos a bajas o altas temperaturas, fuera de lo considerado como normal, trae consigo un choque de temperaturas vinculados al estrés, causando un desequilibrio en las funciones de la planta, inhibiendo los procesos básicos como: fotosíntesis, respiración, transpiración, absorción de nutrientes y translocación entre otros. El mal funcionamiento de estos procesos provoca un deficiente y deforme crecimiento que impacta en baja producción de biomasa, plantas débiles, plantas susceptibles o menor tolerancia a plagas y enfermedades, bajo o nulo rendimientos. La mayoría de los procesos fisiológicos que se realizan en el crecimiento y desarrollo de las plantas están fuertemente ligados a la temperatura; ejerce su influencia principal controlando la velocidad de reacciones dentro de la planta.

Este factor climático, cuando se presenta fuera de los límites aceptables, obstaculiza la producción de esta hortaliza, lo que provoca una baja productividad a través de un incremento en los costos de producción (Anguiano-Barrales, 2006).

El cultivo del chile es muy sensible a la temperatura; debajo de los 15°C su metabolismo se paraliza, arriba de los 30°C tiene problemas de deshidratación y otros fenómenos que ocurren en respuesta; estos cambios bruscos de temperatura afecta gravemente la fisiología de la planta, trae consigo el daño de la membrana celular pudiendo ser irreparable, de tal manera que se libera el contenido celular hacia el exterior, causando cambios en la conductividad eléctrica (CE) del medio por la liberación de los organelos internos de las células y de las sustancias celulares.

Estos cambios en la CE de una planta expuestos a condiciones externas de temperatura, puede reflejar un daño de la membrana celular, la cual se ha mencionado (Blum, 1988) como una técnica para seleccionar genotipos resistentes a temperaturas extremas. Asimismo, aunado a evaluar variables de respuesta como fotosíntesis, respiración, transpiración, frecuencia e índice estomático, permite identificar genotipos de Chile mejor adaptados a condiciones extremas, con características de resistencia en un amplio rango de ambientes con base a la termo insensibilidad.

Los genotipos resistentes a temperaturas altas se pueden identificar de una manera práctica a través de pruebas de campo donde exista este problema, los cuales se pueden seleccionar en base al rendimiento y sometiendo las plantas a estrés de alto calor para después estudiar el porcentaje de recuperación y mortalidad. En la literatura publicada en Chile, no se tiene información sobre estudios realizados para tamizar sub-especies resistentes al calor; y cuando hablamos de sub-especies (subsp.) nos referimos a las diferencias en morfología, fisiología, comportamiento y otras características entre diferentes poblaciones de la misma especie que justifica su identificación separada (Rey, 2006); como por ejemplo el Chile jalapeño, como tal su género es *Capsicum*, como especie es *annuum* y como sub-especie es *annuum* quedando: *Capsicum annum annum*, lo que diferencia al serrano es la sub-especie: *acuminatum*, en el caso del Anaheim la literatura solo menciona el género y la especie; por tal motivo es importante realizar evaluaciones de genotipos de Chile entre las diferentes subespecies, que presenten características

de interés, permitiendo identificar resistencia a factores ambientales en niveles fuera del rango considerado como normal, entre lo que se encuentran la alta temperatura.

Con fundamento en lo anterior, se plantea el presente trabajo de investigación con el siguiente objetivo:

1.1 Objetivo general

Comparar el comportamiento fisiológico entre subespecies de chile: jalapeño (*Capsicum annuum* subsp. *annuum*), serrano (*Capsicum annuum* subsp. *acuminatum*), ancho (*Capsicum annuum* subsp. *grossum*) y Anaheim (*Capsicum annuum* L.) por efectos de altas y bajas temperaturas nocturnas.

1.2 Hipótesis

1. Existe un comportamiento diferencial entre las subespecies de chile, que al evaluar los genotipos a temperaturas nocturnas elevadas en planta, al menos un genotipo, tendrá una mejor respuesta sobre este ambiente particular.
2. La temperatura nocturna por encima de los 30 °C afecta el metabolismo de las plantas y por consiguiente el crecimiento y desarrollo de las mismas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y distribución

En México el cultivo del chile, tiene una larga tradición cultural, es uno de los principales centros de origen y domesticación (Laborde y Pozo 1984; Long-Solís, 1982) tal como lo indican vestigios arqueológicos en donde se han encontrado semillas de forma ancestral en el valle de Tehuacán, Puebla, con una antigüedad de 8,500 años (Evans, 1993). El género *Capsicum* incluye un promedio de 25 especies y tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales del centro y sur de América, donde ha sido cultivado y usado desde épocas muy remotas; era utilizado por los indígenas para condimentar sus comidas y constituía un alimento importante en la dieta (Casseres 1966; Muñoz *et al.* 1970; Huerres *et al.* 1987; Abugarade 1990).

Fue introducido a Europa primeramente por Cristóbal Colón y después con mas intensidad por los conquistadores españoles en el siglo XVI, siendo difundido por España y Portugal y mas tarde por casi toda Europa. Se ha adaptado en casi todas las regiones del mundo, por lo que su cultivo se ha extendido rápidamente (De Oteyza, 1959; De vilmorin, 1977; Huerres *et al.*, 1987).

Su utilización data desde tiempos remotos, primordialmente como condimento, aunque también es una importante fuente de vitamina C, además de diversos usos por parte de las diferentes culturas americanas (Long-Solis, 1986). *Capsicum annum annum* es la subespecie más ampliamente conocida y de mayor importancia económica de los chiles cultivados, ya que presenta una distribución mundial (Pickersgill, 1969).

Los estudios taxonómicos coinciden en que son cinco las especies cultivadas en México: *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens* y *C. annum*, (Pickersgill, 1984; Pozo, 1991), de las cuales ésta última es la más importante debido a que agrupa la mayor diversidad de chiles (Pickersgill, 1984). Con gran cantidad de variedades; se diferencia entre ellos por sus tonalidades del color, (amarillos, anaranjados, rojos o verdes), por el sabor (amargo, salado, ácido y dulce) y por la forma (alargados, rectangulares o redondeados).

Esta especie agrupa a la mayoría de los tipos cultivados en México, entre los que destacan: ancho, serrano, jalapeño, piquin, anaheim, morrón, mirasol, pasilla y mulato; además, presenta la mayor variabilidad en cuanto a tamaño, forma y color de los frutos, los cuales pueden variar de 1 a 30 cm. de longitud, con formas alargadas, cónicas o redondas y cuerpos gruesos macizos o aplanado. Los frutos presentan coloración verde o amarilla cuando están inmaduros; roja, amarilla, anaranjada y/o café en estado maduro (Muñoz *et al.*, 1970; Pozo, 1981; Laborde y Pozo, 1982).

Se consumen en estado fresco y deshidratado o seco, se utiliza como condimento debido a su principio picante (capsaicina) que se localiza en la placenta de los frutos. Es uno de los vegetales mas importantes en México en cuanto al área sembrada y valor económico para exportación. La gran variación en climas y condiciones para su desarrollo, que va del nivel del mar hasta los 2000 msnm, permite tener producción tanto para consumo local como para exportación durante todo el año (Baltazar, 1997).

La variabilidad de esta especie es debido a las aplicaciones culinarias que se le da, por su sabor, color; además, los aspectos más determinantes para esta diversidad de usos es su amplio espectro de aromas, combinado con los sabores básicos, la pungencia y los compuestos volátiles responsables del aroma (Kollmannsberger *et al.*, 2006).

Las especies antes mencionadas por Pickersgill, (1984); Pozo, (1991) pertenecen a la familia de las Solanáceas, junto con tomate, papa, berenjena, petunia y tabaco (Prince *et al.*, 1992). Son especies autógamas, monoicas, de flores completas y perfectas.

En este trabajo nos enfocamos a cuatro subespecies de chile según (Muñoz *et al.*, 1970; Pozo, 1981; Laborde y Pozo, 1982): jalapeño (*Capsicum annuum annuum*), serrano (*Capsicum annuum acuminatum*), ancho (*Capsicum annuum grossum*) y Anaheim (*Capsicum annuum* L.); estas se describen a partir de la página 10 de este apartado.

2.2. Clasificación Taxonómica

Janick (1985), clasificó al chile (*Capsicum annuum* L.) de la siguiente manera:

Reino: Vegetal

División: Tracheophyta

Subdivisión: Pteropsida

Clase: Angiospermae

Subclase: Dicotyledonea

Orden: Solanaceales

Familia: Solanaceae

Género: *Capsicum* L., 1753

Especie: *annuum*

Jalapeño (*Capsicum annuum annuum*), serrano (*Capsicum annuum acuminatum*), ancho (*Capsicum annuum grossum*) y Anaheim (*Capsicum annuum* L.).

2.3. Características botánicas

La clasificación botánica de los *Capsicum* ha sido difícil, debido al alto número de variedades, a la falta de características definidas y a que no existen barreras marcadas para la hibridación de algunas especies. Por esto, los criterios para clasificar *Capsicum* han variado, desde algunos antiguos que reconocen de 20 a 30 especies, hasta uno moderno que sostiene que existe sólo una (Casali y Couto, 1984).

Aunque el género *Capsicum* ha sido sometido a estudios taxonómicos y evolutivos por medio del uso de caracteres morfológicos, citogenéticos y moleculares, aún persisten problemas en la delimitación del género y sus especies, la nomenclatura de las formas silvestres y las cultivadas y en el tratamiento de la variación infraespecífica. Para definir los límites genéricos y específicos, y establecer sus relaciones filogenéticas y evolutivas es aún necesario efectuar estudios que incluyan al total de los taxa que lo conforman.

Para Eshbaugh (1993), el género *Capsicum*, incluye por lo menos 25 especies: *annuum* L., *baccatum* L., *buforum* Hunz., *campylopodium* Sendt., *cardenasii* Heiser & Smith, *chacoense* Hunz., *chinense* Jacq., *coccineum* (Rusby) Hunz., *cornutum* (Hiern) Hunz., *dimorphum* (Miers) O.K., *dusenii* Bitter, *eximium*

Hunz., *glapagoensis* Hunz., *geminifolium* (Dammer) Hunz., *hookerianum* (Miers) O.K., *lanceolatum* (Greenm.) Morton & Standley, *leptopodium* (Dunal) O.K., *minuteflorum* (Rusby) Hunz., *mirabile* Mart ex. Sendt, *praetermissum* Heiser & Smith, *pubescens* Ruiz & Pav., *scolnikianum* Hunz., *schottianum* Sendt., *tovari* Esbaugh, Smith & Nickrent y *villosum* Sendt.

Solo cinco de las anteriores han sido cultivadas y domesticadas pertenecientes al genero *Capsicum*. La más popular y económicamente importante de todas es la *Capsicum annum*. y en orden de importancia sigue *C. baccatum* (con una amplia distribución mundial, siendo las guindillas o chiles alargados su forma más popular), *C. frutescens* (especialmente popular en Asia, África, Latinoamérica y Sur de EEUU) y *C. chinense* (muy arraigada en México y el Caribe). Finalmente, *C. pubescens* (conocido por diferentes nombres como ají rocoto, manzano, cera, etc.) es la menos conocida, muy poco se produce en México, pero muy popular en la región andina (Nuez *et al.*, 2003).

Chile Jalapeño (*Capsicum annum annum*). Es herbáceo en un principio, después se lignifica la parte de la base del tallo, tiene ramificaciones de color verde, la altura varia según el genotipo que se trate. **Raíz:** El sistemas radical es muy ramificado y veloso, la primera raíz es corta y ramificada. **Tallo:** Cuenta con un tallo de crecimiento limitado y erecto. Cuando la planta adquiere una cierta edad, los tallos se lignifican ligeramente, pudiendo ser cilíndricos o prismáticos y angulares. El tallo inicia su ramificación para después dividirse en dos o tres ramas, las cuales a su vez, se bifurcan en una determinada longitud, en forma sucesiva, unas cuatro o cinco

veces; toda ramificación varia de acuerdo al genotipo. **Hoja:** Sus hojas son de color verde oscuro brillante, de forma ovado-acuminada. En las ramas inferiores de algunos genotipos las hojas son de mayor tamaño. La venación es prominente; los pecíolos varían su longitud, según el genotipo y son acanalados. **Flores:** son generalmente solitarias, terminales, pero por la forma de ramificación parecen ser axilares, son flores perfectas, tienen 5 pétalos de color blanco opaco. Los pedicelos miden más de 1.5 cm de longitud, el cáliz es acampanado, ligeramente dentado, aproximadamente 2 mm de longitud, alargado, que cubre la base del fruto. La corola está dividida en 5 o 6 partes, de color blanco o verdusco, con 5 a 6 estambres, las anteras son angulosas, el ovario es bilocular, pero a menudo multicelular, bajo domesticación el estilo es simple, blanco o púrpura, el estigma es capitado (SARH, 1994). **El fruto:** Se cosecha sin madurar o bien, maduro. Su forma es cónica y alargada estrechándose en la punta pero terminando con forma redondeada; tiene color verde oscuro con sabor a verdura y cuando madura se torna rojo y toma sabor dulzón; su carne es gruesa, lustrosa y aromática. El picante se encuentra en las semillas y las venas. El fruto sin madurar se consume en verde, pero cuando se cosecha maduro, se seca para hacer chipotle o bien llevarlo a un proceso de industrialización. **Las semillas:** se encuentran insertadas en una placenta cónica de disposición central, son redondas, ligeramente desuniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 mm (Pozo, 1984). Es el chile de mejor sabor y el más famoso del mundo, es originario de Jalapa en Veracruz. Este chile se caracteriza por mantener intacto sus propiedades picantes independientemente del calor o congelación de los alimentos. Se puede utilizar en abundancia por que logra mantener un perfecto equilibrio entre su sabor y el sabor de la comida. Se usa como

chile verde crudo o cocido; en su versión seca se convierte en el Chile Chipotle muy picoso tomando un sabor ahumado y dulzón.

Chile Serrano (*Capsicum annuum acuminatum*). Como su nombre lo anuncia proviene de las zonas montañosas, pertenece a los chiles tradicionales. Generalmente se utiliza en fresco, seco y en polvo. Lo nombran muy comúnmente como chile verde. Es herbáceo y crece de manera arbustiva, con un solo tallo y muchas ramas ascendentes-extendidas. **Tallos:** verdes, costillados, pubescentes con pelos incurvados de 0.4 mm de largo. **Hojas:** solitarias o en pares, lanceoladas, de 2-8 cm de largo, 1-3 cm de ancho, esparcidamente pubescentes en ambas superficies a glabras, el ápice acuminado, la base cuneada y abruptamente acuminada en el pecíolo; pecíolos de 5-20 mm de largo. **Inflorescencias axilares:** de una sola flor; pedicelos erectos, curvado en el ápice y en floración. **Flores:** de 1-2 cm de largo, 0.5 cm de diámetro, dilatado en el ápice, esparcidamente pubescente; cáliz de 1 mm de largo en anthesis, hasta 2 mm de 5 largo en el fruto, truncado y escasamente lobado con apéndices diminutos justo abajo del margen, éstos continuos con las costillas; corola blanca, acampanado, de 9 mm de ancho, lóbulos ovados-trianguares, de 3 mm de largo; filamentos de 1-1.5 mm de largo, glabros, las anteras verde azuladas, de 1 mm de largo, 0.5 mm de ancho; estilo de 2.5 mm de largo. **Fruto:** su forma es alargada, cónica con punta roma y redondeada; su color es verde oscuro; su piel es lisa, gruesa y consistente; el sabor es picante y con mucho cuerpo. **Semilla:** pardo-amarillenta, comprimidas de 2.5 mm de largo (Ramírez, 1989).

Chile ancho (*Capsicum annuum grossum*). Flores solitarias; constricción anular ausente en la unión del pedúnculo y cáliz. Otro chile que se utiliza fresco, de excelente calidad, presenta un color verde oscuro brillante cuando está fresco y al madurar adquiere un color escarlata y se transforma en Chile Ancho; es uno de los chiles medios en cuanto a picor; su tamaño es grande con forma cónica y algo achatada. Su nombre común es el ancho o poblano. *Características:* de buen tamaño, forma triangular, color vino oscuro o escarlata y sabor picante y acre.

Chile anaheim (*Capsicum annuum* L.). Flores solitarias; constricción anular ausente en la unión del pedúnculo y cáliz. Es herbáceo y crece de manera arbustiva, con un solo tallo y muchas ramas ascendentes-extendidas. **Tallos:** verde claro, costillados. **Hojas:** verde-claro solitarias o en pares, lanceoladas superficies a glabras, el ápice acuminado, la base cuneada y abruptamente acuminada en el pecíolo. **Inflorescencias:** de una sola flor; pedicelos erectos, curvado en el ápice y en floración. **Flores:** es dilatada en el ápice, esparcidamente pubescente; cáliz en anthesis, truncado y escasamente lobado con apéndices diminutos justo abajo del margen, éstos continuos con las costillas; corola blanca, acampanado, lóbulos ovados-triangulares; filamentos, glabros, las anteras verde azuladas; estilo de 2.5 mm de largo. **Fruto:** una baya alargada que cuando madura se torna rojo-anaranjada, puede medir hasta 25 cm de largo, lustrosa. **Semilla:** pardo-amarillenta o blanca según la variedad (Ramírez, 1989).

2.4. Requerimientos edafoclimáticos

El ciclo vegetativo de la planta de chile depende de los genotipos, de la temperatura en las diferentes épocas (germinación, floración, maduración), de la duración del día y de la intensidad lumínica. El chile necesita una temperatura media diaria de 24°C. Debajo de 15°C el crecimiento es deficiente y con 10°C el desarrollo del cultivo se paraliza. Con temperaturas superiores a los 35°C, puede haber aborto de flores, la fructificación es muy débil o nula, sobre todo si el aire es seco.

Las temperaturas elevadas pueden causar una polinización deficiente, que aunada a un desbalance nutricional, pueden ocasionar que los frutos no crezcan en forma normal.

2.4.1. Suelo

El cultivo del chile se adapta a diferentes tipos de suelo, pero prefiere suelos profundos, de 30 a 60 centímetros de profundidad, de ser posible, francos arenosos, franco limosos o franco arcillosos, con alto contenido de materia orgánica y que sean bien drenados. El chile se adapta y desarrolla en suelos con pH desde 6.5 a 7.0 aunque hay que considerar que en suelos con pH de 5.5 hay necesidad de corregir. Por abajo o arriba de los valores indicados no es recomendable su siembra porque afecta la disponibilidad de los nutrientes. Es muy importante conocer y considerar el pH del

suelo porque indica los rangos para el buen uso y asimilación de los fertilizantes y especialmente cuando sean de origen nitrogenado.

2.4.2. Temperatura

La temperatura del suelo es muy importante tanto en la germinación como en el desarrollo del sistema radicular. La temperatura más baja que toleran las semillas al momento de germinar es de 12 a 13°C, en la que la germinación tarda entre 20 y 25 días; entre 20° y 25°C la germinación tarda entre 7 y 8 días. Una temperatura en el suelo de 10°C retarda el desarrollo de las plantas; la tasa de crecimiento aumenta a medida que la temperatura del suelo asciende.

2.4.3. Humedad

Las hortalizas, y en específico la planta de chile, tienen altos requerimientos de agua y nutrientes. El agua es uno de los recursos de mayor importancia y más limitante para la producción de cultivos. Para incrementar el aprovechamiento de este recurso y pensar en su preservación, es necesario manejar algún sistema riego (goteo, micro aspersión y aspersión, etc.) que eficiente el suministro de manera adecuada y uniforme la humedad en el momento oportuno a lo largo del ciclo cultivo. Del total del agua que está en contacto con el suelo se disecciona de la siguiente manera: una parte la planta la absorbe, otra se pierde por la evaporación, otra por infiltración, y la que escurre por la superficie. Debido a ello, las estrategias para

mejorar la eficiencia en el uso del agua en la producción deben estar encaminadas a reducir cualquier pérdida (Ortiz *et al.*, 1999). Para alcanzar y mejorar la eficiencia y pensar en la producción, es necesario adecuar un buen sistema de conducción de agua.

El sistema de riego por goteo de alta frecuencia, es una buena alternativa para el suministro de agua, además de que permite dosificar los nutrimentos que el cultivo de chile requiere durante su desarrollo (Tijerina, 1999). El riego localizado o por goteo, ha resultado ser preciso en la programación y distribución y con ello se ha logrado aumentar el rendimiento y calidad de los cultivos que demandan alta cantidad de agua como el caso de las hortalizas, (Dangler y Locascio, 1990).

Es un cultivo que exige una gran cantidad de agua, una baja humedad del suelo reduce considerablemente los rendimientos y la calidad en la producción, mientras que un exceso puede retrasar la maduración, reducir el contenido de sólidos solubles y si coincide con la presencia de bajas temperaturas, puede causar una reducción en la intensidad del color e incrementa la susceptibilidad a enfermedades.

2. 5. Siembra

La siembra se puede realizar en cualquier época del año bajo un sistema de agricultura protegida; en campo abierto en el centro y norte de Nuevo León, se

realiza a partir del 1º de diciembre en adelante, esto no quiere decir que no se pueda antes o después, sino que la finalidad es aprovechar las condiciones ambientales y sincronizar la época de cosecha para producción de esta hortaliza, en una época de gran demanda de producto comestible.

La producción de plántulas en bandeja o charolas germinadoras (plástico o poliestireno) pueden llenarse con cualquier mezcla que cumpla la función de sustrato. Esto ha venido a innovar el cultivo de hortalizas haciéndolo eficiente, ya que se tiene uniformidad de plantas, sanas, con mejor enraizamiento por que conservan todas sus raíces al momento del trasplante; además, la cosecha se acelera aumentando los ingresos del productor. En la charola cada planta se desarrolla individualmente, sin entrar en competencia con las otras, éstas quedan mejor distribuidas y crecen vigorosas.

2.6. Obtención de plántula

Uno de los aspectos más importantes en cuanto a la producción de chile es la calidad de plántula ya que este cultivo requiere de transplante. Los mayores retos a los que se enfrenta el productor de plántulas es la obtención de un producto sano y de excelente calidad, por lo que es necesario conocer cuales son los problemas que pueden estar presentes durante su proceso de producción.

La producción de plántula a nivel mundial ha crecido en gran medida, los avances en el trasplante con el uso de charolas y sustratos así como el uso de los invernaderos, han influido en la producción de plántula (Wien, 1997; Orlolek y Lamont, 1999).

El trasplante se caracteriza por su eficiencia en la propagación de plántulas con un buen enraizamiento, ya que se conservan todas sus raíces al trasplante; sin embargo, el periodo que transcurre en el trasplante, que va desde las charolas germinadoras al establecimiento definitivo, esta acompañado de situaciones de estrés (manejo físico, condiciones adversas, presencia de fitopatógenos, etc.), que pueden ocasionar pérdidas de plantas transplantadas o en su caso perdida total del cultivo durante su ciclo de cultivo. El estado nutrimental de las plántulas de esta hortaliza al momento del trasplante, es también un factor importante que influye en el establecimiento y la productividad de estos cultivos; sin embargo, el éxito también depende del nivel de estrés que la plántula pueda soportar al momento del trasplante, aunque la humedad normalmente se controla en este momento, la temperatura alta es el factor que puede diferir entre el éxito o fracaso en la sobrevivencia de la plántula en este momento, por este motivo los productores son exigentes en cuanto a la compra de plántula; su principal interés es que se tenga resistencia al estrés, ya que a la hora del trasplante se enfrentan a un periodo crítico. Es por eso que se requieren buena apariencia como es un tallo grueso, amplia área foliar, porte bajo y abundante raíz, con menor cantidad posible de raicillas de color blanco o café oscuro; pero para poder obtener todo esto es necesario contar con un manejo adecuado de la plántula.

2.7. Fertilización

En cualquier cultivo del que se trate, es necesario realizar un análisis de suelo previo, que pueda indicar los minerales presentes y compensar los elementos a aplicar (Cuadro 1) donde se describen los elementos necesarios según la etapa fonológica (Wattsagro, 1999), de acuerdo a los requerimientos nutrimentales de cada etapa del cultivo. Esta fertilización debe hacerse de manera precisa, planeada y sobre todo evitando el uso de compuestos y/o productos que no sean los señalados para el tipo de cultivo, suelo, clima, *etc.* Para abarcar la efectividad se debe de tomar en cuenta una fertilización orgánica y química como alternativa de producción económica y ecológicamente factible, en el que se tenga un mejor aprovechamiento de los nutrimentos y que estén disponibles de manera eficiente y rápida para las plantas. Esto se puede obtener con una incorporación de cualquier abono tratado (cualquier composta, gallinaza, residuos de cosecha, *etc.*), que además de mejorar las características del suelo, son portadores de minerales que se van suministrando a lo largo del ciclo, que aunado con la aplicación de fertilizantes solubles, hace que en conjunto, los nutrimentos sean mejor aprovechados y que puedan incidir rápidamente en el metabolismo de las plantas.

La nutrición está en función del requerimiento del cultivo, esto se puede calcular a partir de datos de nutrimentos extraídos del suelo; o bien a partir de la determinación de la producción de biomasa; al dato obtenido, se le resta el aporte del

suelo que se obtiene a través de un análisis fisicoquímico del mismo. Con estos datos se calcula la dosis a aplicar y la dosificación se realiza en función de la etapa fenológica, funciones del elemento, tipo de fertilizantes y sistemas de producción empleados (Sandoval, 2001).

Cuadro 1. Elementos necesarios en las etapas fenológicas para el cultivo de chile (Wattsagro, 1999).

Elemento a aplicar	Etapas
P, Zn	I.- Establecimiento (desarrollo radical)
N, Zn, Ca	II.- Alargamiento de tallos y hojas
N, P	III.- Ramificación lateral
P, K	IV.- Inducción floral
B, Zn, Mo, Cu, Ca, N	V.- Aparición y desarrollo floral
Ca, Fe, Zn, Mo	VI.- Amarre de fruto
N, Ca, K	VII.- Desarrollo de frutos
P, K, S	VIII.- Terminación de la calidad del fruto y maduración

Es necesario monitorear bien la humedad del terreno y el número de riegos que se le suministren al cultivo, se deben hacer aplicaciones periódicas de Ca, Mg y B para darle consistencia, buen amarre y color al fruto.

En general se recomienda hacer las aplicaciones bajo dos conceptos:

- Aumentar la reserva general de nutrimentos en la planta con un producto que contenga la mayoría de los nutrimentos esenciales en forma balanceada para la planta, sugiriéndose su aplicación en las etapas de máxima demanda (II, III, V, y VI).

- La prevención o corrección específica de uno o más nutrimentos según el cultivo o la etapa que se trate.

2.8. Plagas y Enfermedades de importancia, que presenta durante el ciclo de cultivo.

Es impensable decir que tal como ocurre con otras especies domesticadas que consume el hombre, el chile posee un gremio de organismos que lo parasitan. Entre los organismos más comunes encontramos los siguientes:

2.8.1. Plagas

- ☞ Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)
- ☞ Minador de la hoja (*Liriomyza trifolii*)
- ☞ Picudo del Chile (*Anthonomus eugenii*)
- ☞ Araña roja (*Tetranychus urticae*)
- ☞ Pulgón myzus (*Myzus persicae*)
- ☞ Chinche verde (*Nezara viridula*)
- ☞ Trips de las flores (*Frankliniella occidentalis*)
- ☞ Gusano soldado (*Spodoptera exigua*)
- ☞ Gusano medidor (*Chrysodeixis chalcites*)
- ☞ Gusano trozador (*Agrotis sp*)
- ☞ Pulga saltona (*Epitrix cucumeris*)

La mosca blanca (*Bemisia tabaci*) fue la principal plaga que se presentó en este experimento. Se controló utilizando el producto Confidor® en una dosis de 2 ml L⁻¹ mas extracto de ajo. El daño que causa la alimentación de la larva y adulto de la mosca blanca, es la reducción de porcentaje de transpiración y fotosíntesis. Ocasiona reducción de fotosíntesis en la hoja, restringiendo el intercambio de gas mediante el estoma y reduciendo los contenidos de clorofila y la capacidad fotosintética; el daño alimenticio causa clorosis, crecimiento anormal y prematura abscisión de las hojas (Pollard 1955; Hoelmer *et al.*, 1991); otras plagas de la familia *aleyrodidae* han demostrado que el floema es el principal sitio donde se alimenta; la penetración de su estilete es directamente al parénquima, usualmente es intercelular (Pollard, 1955 y Walker, 1985).

2.8.2. Enfermedades

El daño causado por enfermedades en las plantas se observa a simple vista y es consecuencia del desarrollo de microorganismos dentro de ellas. Los patógenos (microorganismos dañinos) consumen de la planta sus alimentos y producen sustancias toxicas que interfieren en su funcionamiento, llegando a ser crónica o letal. Entre los fitopatógenos mas importantes de este cultivo, sin duda destacan aquellos relacionados a la marchitez del chile, este síntoma se ha asociado a *Phytophthora capsici*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium spp.*, o bien, por la acción de

estos como un complejo (productores de hortalizas, 2004). Las enfermedades comunes de este cultivo se presentan en la siguiente lista.

- ☞ Marchitez del Chile o secadera (*Phytophthora capsici*)
- ☞ Marchitez por verticillium (*Verticillium dahliae*)
- ☞ Tizón sureño (*Sclerotium rolfsii*)
- ☞ Antracnosis (*Colletotrichum capsici*)
- ☞ Pudrición por Alternaria (*Alternaria spp*)
- ☞ Mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris pv. vesicatoria*)
- ☞ Marchitez bacteriana (*Pseudomonas solanacearum*)
- ☞ Virus del Mosaico del pepino (VMP)
- ☞ Virus del mosaico del tabaco (VMT)

2.9. Rendimiento

Los rendimientos son variables y van de acuerdo, a un conjunto de factores, desde el manejo del cultivo, la variedad sembrada, hasta depender de factores edafoclimáticos donde se situó el área de producción.

Para tener una buena producción es necesario utilizar un sistema de establecimiento, que incluya el transplante, y un arreglo espacial específico, con el fin de asegurar una buena población de plantas. Se ha encontrado que altas densidades producen un mayor rendimiento temprano en chile jalapeño, debido a la

mayor cantidad de plantas por superficie. Esto coincide con Motsenbocker (1996) que obtuvo rendimientos tempranos al acortar la distancia y que tiene como influencia la densidad entre plantas. Mientras que Locascio y Stall (1994) reportaron que plantas muy separadas en Chile tipo BELL, no encontraron un efecto sobre el rendimiento temprano.

Stofella y Bryan (1988), reportaron que los altos rendimientos dependen del desarrollo morfológico del cultivo del Chile, por el arreglo espacial y la densidad de población y asocian esta característica con los altos rendimientos.

2.10. Cosecha y Manejo

Una vez formado el fruto como órgano verde, se presenta una serie de cambios metabólicos, bioquímicos y fisiológicos que conducen al estado de maduración a características sensoriales óptimas para el consumo.

Esta sucesión de cambios se inicia cuando el fruto alcanza su máximo crecimiento y diferenciación, hasta llegar a la cúspide del climaterio respiratorio o madurez total, iniciándose posteriormente la senescencia del mismo.

Denisen (1987) describió la madurez como la calidad de maduración de los frutos; mientras que la maduración es el estado de completa madurez anterior al inicio de descomposición.

La cosecha para mercado fresco para las regiones productoras de esta hortaliza en Nuevo León, se inicia entre los días 80-85 y se prolonga hasta los 120-125 días aproximadamente después del trasplante durante un mes y medio (4 ó 5 cortes), pero depende del manejo (fertilización, control de maleza, plagas y enfermedades, etc.) que se le siga dando a la planta.

La recolección del fruto se hace a mano, que con un ligero movimiento se desprende con pedúnculo. Los chiles listos para cosechar en verde se conocen por su tamaño, color (Varia el color verde: claro, oscuro, según el genotipo) y textura. Cuando la producción sea para deshidratado, los cortes se van realizando a medida que los frutos cambian de color verde a rojo o según sea el caso.

2.11. Clasificación del fruto

Una vez cosechados, los chiles se clasifican para su venta. La clasificación general se realiza de manera visual y depende principalmente del tamaño, la forma típica y la corchosidad.

La calidad del fruto es determinante para su comercialización. El fruto debe tener ciertas características de calidad la cual se paga con un sobreprecio o por la preferencia del consumidor; y la calidad se descubre en función de la apariencia, firmeza y pungencia. 1) la apariencia es el atractivo visual (tamaño, rectos, lisos,

corchosos según el caso, color, etc.). El pedúnculo debe de permanecer adherido al fruto. 2) la firmeza es el carácter importante ya que confiere al fruto mayor peso unitario, resistencia al transporte y mayor vida de anaquel sin que demerite la calidad; este carácter también conlleva al buen llenado de semillas distribuidas en los lóculos y por el grosor del pericarpio. 3) la pungencia, característica que requiere que sea picante y buen sabor.

Bosland (1993) mencionó lo importante que es la calidad de fruto de *capsicum*, y que las personas lo prefieren de tal manera que los factores considerados como calidad para un uso en particular, no lo son para otros usos. Mientras que el productor juzga el rendimiento, la calidad de fruto, la tolerancia a patógenos, para otros es importante la calidad nutricional, o la calidad de proceso, la vida de anaquel, o bien los canales de comercialización. Aparte, los aspectos que determinan la calidad estándar varían de acuerdo al consumidor, productor, vendedor e importador.

2.12. Ambiente y adaptación

Desde los primeros estudios en que se intentó explicar la gran diversidad de los organismos sobre la tierra, el hombre ha reconocido el importante papel que juega el ambiente en la vida, producción y variación de los seres vivos.

El ambiente puede considerarse como la suma de todas las condiciones efectivas que influyen en el desarrollo de los organismos (Klages, 1942).

Billing en 1952 citado por Wilsie (1966) estableció que el ambiente comprende todas las fuerzas extremas y sustancias que afectan el crecimiento, estructura y reproducción de la planta, en la que denota la importancia de los factores climáticos, edáficos, geográficos y bióticos; por consiguiente describe a la planta como un centro de interrelaciones complejas con todos los factores antes mencionados, a este complejo de interrelaciones le denominó holocenótico, en el cual ubica al hombre como parte del ambiente.

2.13. Efecto de temperatura en las plantas

Hay diversos factores ambientales que afectan la fisiología de los vegetales y la temperatura es uno de los más importantes. En el norte de México, de acuerdo a un estudio de precipitaciones y temperaturas históricas incluyendo al menos 30 años por Esquivel (2007) mencionó que la sequía es un proceso recurrente y que las altas temperaturas son un factor agravante de la misma, particularmente en aquellas regiones de baja precipitación promedio y temperaturas altas. Las altas temperaturas y la sequía que asecha a los cultivos ha obligado a usar técnicas que permiten evaluar y seleccionar genotipos con características deseables a tolerar factores que provoquen estrés. Por ello, desde tiempos remotos los investigadores han dedicado gran parte de su esfuerzo en estudiar y comprender los efectos de la temperatura en

los procesos vitales de las plantas. Las plantas son organismos poiquilotérmicos, es decir, su temperatura depende de la del ambiente, que responden en forma completamente diferente cuando se encuentran expuestos a cambios en la temperatura.

Este factor climático, cuando se presenta fuera de los límites de tolerancia, obstaculiza el buen desarrollo y afecta la producción de cualquier planta, incluyendo la planta del Chile. Por esto, es importante realizar evaluaciones de genotipos que presenten características fisiológicas y morfológicas de interés que se deriven para su adaptación y sobre todo que presenten características de resistencia a este factor ambiental en niveles fuera del rango considerado como normal.

Las temperaturas extremas son importantes en la producción comercial de cultivos. Así, temperaturas bajas pueden dañar a la planta por frío o por congelamiento y las temperaturas altas pueden ocasionar un choque de calor. Los resultados pueden ser tan dañinos que la planta muere. Sin embargo, la identificación de cultivares ampliamente adaptados se hace difícil cuando existe interacción genotipo por ambiente.

Las altas temperaturas es un factor físico del ambiente, es un medio por las cuales las plantas pueden sobrevivir a periodo críticos del mismo, causando estrés a la planta, dando como consecuencia alteraciones en el desarrollo que aunado a un déficit hídrico puede sufrir daños irreversibles a no ser que posea características

estructurales, morfológicas y fisiológicas adoptadas por su genealogía o genes, o modificadas por la interacción del ambiente.

En procesos como la división celular, esta actividad fisiológica depende enormemente de la temperatura, ya que su influencia es directa; además, es determinante en procesos como fotosíntesis, respiración, acumulación de azúcares y almidones. Una planta tiene la plasticidad de hacer cambios en su morfología como medio de adaptación en presencia de algún ambiente. También, está relacionada con la germinación de las semillas, la absorción y utilización de los nutrientes, la transpiración, la floración y en general con todo el metabolismo de la planta.

El desarrollo de los cultivos depende de la temperatura y el fotoperíodo, por lo que se requiere índices biometeorológicos para describir este proceso (Robertson, 1983). Sestak *et al.* (1971) observaron que en la fotosíntesis y en otros procesos físicos, químicos y biológicos que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, la temperatura tienen varios efectos: directo o indirectos, cualitativos y cuantitativos.

Brauer (1983) indicó que en la fisiología vegetal el termoperíodo se refiere a la reacción que tienen las plantas por alteración de temperaturas que en la naturaleza corresponden al día y la noche, por lo tanto, esta íntimamente relacionada con las reacciones que requieren la presencia de la luz (fotosíntesis). En el caso del tomate se encontró que su crecimiento vegetativo es máximo a unos 26°C, pero para alcanzar una floración y fructificación máxima requiere una alteración en la

temperatura de unos 8°C, habiendo además una tendencia a disminuir este óptimo nocturno con la edad de las plantas hasta unos 13°C. En Chile, la temperatura diurna fue también de 26°C, pero requiere en cambio una alteración con temperaturas hasta 8°C durante la noche para obtener la floración y fructificación máxima.

Penepa y Krilov (1977) citaron que de acuerdo en un estudio que hicieron en cilantro, la temperatura y la luz provocan cambios fenológicos y bioquímicos, encontrando que la luz, tiene un mayor efecto sobre la duración de la etapa de crecimiento comparado con la temperatura y que promueve más rápido la inflorescencia.

Levitt (1972) reportó que los genotipos en el campo se pueden considerar como resistentes a temperaturas altas y sequía sin haber diferencia entre ambos. Sin embargo, es correcto decir que las plantas con resistencia a sequía frecuentemente toleran temperaturas altas, pero Sullivan y Ross (1979) mencionaron, que aunque existen interacciones y correlación positiva entre resistencia a temperaturas altas y sequía, es deseable medir y seleccionar por resistencia a temperaturas altas y sequía separadamente para el propósito de mejoramiento genético de los cultivos. Aparentemente, algunos mecanismos contribuyen para temperaturas altas y sequía mientras que otros no.

Serrano (1978) mencionó que el cultivo del Chile de la especie *Capsicum annuum* se adapta favorablemente en climas tropicales y subtropicales libre de heladas; siendo temperaturas críticas del cultivo las siguientes: heladas 0°C, a las

10°C se paraliza su metabolismo, a los 15°C tiene un desarrollo deficiente, su óptimo es de 25°C y su máximo es de 40°C.

Shen y Li (1982) estudiaron el efecto de las altas temperaturas en los cultivares "saladette y UC82B", considerados como resistentes a las altas temperaturas. Observaron que cuando las plantas de ambos genotipos se desarrollaron a temperaturas por debajo de 30°C y después se ponían durante 15 minutos a 50 °C, las plantas obviamente morían; pero incrementaban su resistencia cuando eran expuestas a 30°C durante 24 horas, de los cuales de estos genotipos el cultivar "saladette" fue superior en cuanto a resistencia; y que con una aclimatación de 35°C durante 48 horas, esta tolerancia no se incremento. Por lo tanto, lo anterior supone que debido al prolongado estrés de alta temperatura (35°C) las plantas pueden ser dañadas y de este modo pierden la capacidad de aclimatación, porque los procesos de aclimatación al calor son considerados como reacciones específicas de las células en respuesta a la acción nociva del calor.

Nilwik (1981) estudió el efecto de la temperatura e irradiación en *Capsicum annuum* L., con temperaturas medias día/noche de 19.1, 20.4 y 21.9°C; y con irradiación natural de luz diurna (DL) y una iluminación adicional (6.5 w m²) por 7.5 horas aplicadas durante el fotoperiodo natural o después de este (noche). Observó que la iluminación y las altas temperaturas adicionales incrementaron la altura de planta, el número de hojas, el área foliar, mientras que una baja temperatura diurna incremento la tasa de asimilación neta y decreció la tasa de área foliar.

El-sharkawy y Hesketh (1964) estudiaron el efecto de las variaciones de temperaturas y déficit de agua en la tasa de fotosíntesis foliar en: girasol, sorgo y algodón. El rango de temperatura estudiado varió de 20 a 60°C constante durante 20 minutos. Para las tres especies la tasa de fotosíntesis neta foliar decreció conforme se incremento el déficit de humedad y las altas temperaturas. Conforme se presentaban las temperaturas altas las hojas presentaron turgencia total y los estomas fueron abiertos completamente; excepto en sorgo, las hojas se marchitaron por completo después que la fotosíntesis decreció por déficit de agua.

Bar Tsur *et al.* (1985) estudiaron el efecto de temperaturas altas (35°C) y moderadas (25°C) sobre la fotosíntesis, transpiración y resistencia estomatal en dos cultivares de tomate saladette; el primero presenta características de alto amarre de fruto aun en temperaturas altas y el segundo cv Roma VF que presenta bajo amarre de fruto. Después de 48 horas de aclimatación de 35°C, observaron un incremento del 400 % mayor en la transpiración de los cultivares en relación al tratamiento con temperatura moderada, transpirando ligeramente menos el cv. Saladette. La fotosíntesis alcanzó un máximo a las 10:00 AM sin diferencia entre cultivares. El incremento de la transpiración correspondió con una disminución a la resistencia estomatal.

Otro efecto de la temperatura en frutales, en un estudio con rambutan (*Nephelium lappaceum*), fruta tropical que pertenece a la misma familia de la litchi; Hernandez (2002) mencionó que la asimilación de CO₂ disminuye por efecto de la temperatura baja, igual que lo hace el crecimiento. Las temperaturas altas (32 °C)

incrementan el crecimiento vegetativo. En términos absolutos de la temperatura nocturna (28°C) tiene un efecto mayor en el crecimiento que la temperatura diurna (32°C); en cambio, la duración del crecimiento fue más sensible a las temperaturas diurnas. En términos de elongación del tallo, producción de nudos, hojas y área foliar, la temperatura nocturna tuvo mayor efecto en el crecimiento, incrementando estas características.

Berry y Rafique (1988) mencionaron que varios investigadores consideran que la tolerancia al calor como un rasgo muy complejo donde algunos genotipos tolerantes exhiben una significativa interacción genotipo por ambiente; y que además es aceptado que un número de genotipos capaces de amarrar fruto a temperaturas altas pueden ser utilizados en un programa de mejoramiento si se quieren desarrollar líneas de amplia adaptación.

Los fitomejoradores comúnmente utilizan herramientas para aplicar los análisis de estabilidad, la temperatura juega un papel importante en donde las condiciones ambientales favorables, desfavorables, o ambas, les permiten determinar si las poblaciones de plantas existentes o genotipos se adaptan en dichos ambientes (Stoffella *et al.*, 1995).

Se busca seleccionar cultivares que se comporten bien en un amplio rango de ambientes. Sin embargo, la identificación de cultivares ampliamente adaptados se hace difícil cuando existe interacción genotipo por ambiente (G x A).

Los genotipos según su condición en diversos ambientes, difieren en su habilidad de respuestas a condiciones ambientales, debido a esto, hace complicado la identificación del genotipo de interés (Eberhart y Russell, 1966).

La estabilidad en el comportamiento de esta hortaliza, depende grandemente de factores bióticos y abióticos, en donde pueden presentar variabilidad genética de los materiales.

La adaptación es una respuesta del genotipo ante el ambiente; que conforme se va cambiando las condiciones del ambiente también se ve modificado paralelamente la expresión fenotípica de la planta con diferente respuesta, positiva o negativa. Esto coincide con Silvertown y Gordon (1989) quienes han definido el comportamiento de la planta como la respuesta a los signos interiores y externos, que en términos de planta, éstos son el crecimiento y fenómenos que ocurren o inciden en el desarrollo, como por ejemplo: la etiolación, inducción de la flor, respuesta a la oscilación de viento, regeneración, la germinación del brote inducido, torcimiento tropical, etc.

La respuesta de las plantas en un lapso de tiempo, es el resultado del crecimiento y desarrollo de la misma planta. A lo largo del siglo pasado y actual, la interacción genotipo x ambiente ha sido estudiada por muchos investigadores en el que han dejado aportaciones importantes a lo largo del tiempo; tales como las de Eberhart y Russell (1966), Poysa *et al.* (1986) que comentaron que las posiciones relativas entre los genotipos evaluados en diferentes ambientes a menudo difieren

entre ellas, por lo que se dificulta la identificación del genotipo más deseable. Allard y Bradshaw (1964) establecieron que la variabilidad genética entre plantas o de la misma especie, se incrementa conforme las condiciones edafoclimáticas se van cambiando. Echandi (2005) seleccionó líneas de chile jalapeño con mejor adaptación y rendimiento, mencionó que la estabilidad en el rendimiento de frutos de chile jalapeño, puede medirse para determinar la adaptación de líneas específicas y que los ambientes pueden variar en prácticas de manejo de producción, la presencia de agentes bióticos, así como en condiciones de clima y suelo. Gallegos *et al.* (1980), citaron que gracias a la gran adaptabilidad que posee el cultivo, es posible obtener elevadas producciones, ya que permite establecerse tanto en climas tropicales como templados de diversas regiones del país. Carrillo *et al.*, (1991) comentaron que la idea es identificar los sitios con condiciones óptimas para un material genético en particular, y reunir la mayor cantidad de información posible acerca de comportamiento en diversos ambientes con el fin de determinar el ambiente óptimo de producción.

2.14. Fotosíntesis

Es un proceso complejo, en el que todos los organismos vivos, poseedores de clorofila y otros pigmentos, captan la energía luminosa para convertirla en energía química utilizable en forma de ATP y compuestos reductores NADPH^+ y con ellos transforman el H_2O y CO_2 en compuestos reducidos (glucosa y otros) para la realización de sus funciones.

Russildi (1981) mencionó que la fotosíntesis es un proceso bioquímico por el cual las plantas transforman la energía del sol en energía química para realizar sus procesos metabólicos y que la luz es la única fuente de energía para llevarse a cabo la fotosíntesis.

La fotosíntesis es un factor limitante en la producción de los cultivos. La eficiencia fotosintética depende de la edad de la hoja y el genotipo de la planta, así como de la demanda de asimilados en la floración y el efecto del medio ambiente. Bajo condiciones medioambientales comparables, la porción de fotosíntesis declina con la edad y la expansión completa de la hoja (Dwyer y Stewart, 1986).

En las primeras etapas de desarrollo del cultivo, las hojas y los tallos herbáceos son los principales órganos de asimilación fotosintética y el crecimiento depende del área foliar y la tasa de asimilación fotosintética por unidad de área foliar (Evans, 1988). Sin embargo, según Crofts (1971), medir la fotosíntesis de un cultivo, basado únicamente en la superficie de área foliar, es inadecuado puesto que se debe de considerar la eficiencia de la fotosíntesis. La cual se ve afectada por factores ambientales como la irradiación, concentración de CO₂, humedad y también por factores mismos de la planta (Hans, 1974).

Watson (1952) propuso que la eficiencia de la fotosíntesis se puede medir por medio de la tasa del peso seco por unidad de área foliar, como una medida de la tasa de la fotosíntesis, denominada tasa de asimilación neta (TAN).

2.15. Respiración

La respiración es un proceso vital para todo organismo, consta de una serie de reacciones bioquímicas en los diferentes sustratos producidos en la fotosíntesis para liberar energía que luego es utilizada en otros procesos.

Existen dos tipos de respiración, uno se denomina fotorespiración y la otra respiración oscura.

- a) La respiración oscura se presenta tanto en día como en la noche.
- b) La fotorespiración es sustancialmente diferente a la primera, que normalmente se estima que es varias veces mayor que la anterior. Si no existiera la fotorespiración las plantas fueran más eficientes en términos de rendimiento (Hans, 1974).

Es importante notar que la energía que se libera por el proceso respiratorio es en forma de ATP y NADPH, por lo tanto, la respiración que se lleva a cabo de día y de noche en todas las partes de la planta, utiliza y consume los productos de la fotosíntesis. En general, la respiración se incrementa con la temperatura, por eso las noches que siguen de los días fríos, son decisivas para el óptimo desarrollo de las plantas.

2.16. Transpiración

La transpiración es la verdaderamente importante y podría decirse que es un mal inevitable, debido a la necesidad que tienen las plantas de realizar el intercambio gaseoso (CO_2 y O_2) en una atmósfera de bajo potencial hídrico. Asimismo, juega un papel muy importante en la refrigeración de la planta o control de temperatura interna con la del ambiente, y además, la transpiración sirve para concentrar los nutrientes que la planta toma por la raíz, como también es el factor esencial en la absorción del agua por el xilema al tiempo que es fundamental en la distribución de los nutrientes en la planta.

Es una pérdida de agua de las plantas en forma de vapor (Sivori, 1980) y esto lo hace para regularizar sus condiciones internas. Otros la definen como la pérdida de agua de las plantas en forma de vapor, la cual se ve modificada por la estructura de la planta y el comportamiento de los estomas. La transpiración provoca pérdidas de agua, daño y muerte por desecación; sin embargo, la ventaja de este fenómeno es que promueve la translocación de nutrientes; esto se da cuando hay gradientes de temperaturas y de presión de vapor que proporcionan las fuerzas impulsoras, estos gradientes es común que ocurra durante el día (Kramer, 1974).

La pérdida de agua en forma de vapor es un proceso físico de evaporación que ocurre en las paredes de la célula del mesófilo y epidermis de las hojas, y de otros órganos en contacto con el aire. El vapor de agua escapa a la atmósfera por

difusión, a través de los estomas (transpiración estomática) y las lenticelas de los frutos y tallos (transpiración lenticular) o atravesando directamente la cutícula de las células epidérmicas (transpiración cuticular). Por su naturaleza, esta sujeta a las leyes físicas que gobiernan el fenómeno de evaporación, pero modificado y regulado por estructuras biológicas: estomas, cutículas, etc., (Sivori, 1980). La transpiración estomática representa del 80 al 90 % de la pérdida del vapor de agua. La intensidad de la temperatura afecta la intensidad de la transpiración en diversas formas: 1. al elevarse la temperatura de la atmósfera, aumenta la capacidad del aire para retener la humedad. 2. las hojas expuestas directamente a la luz del sol están más calientes (algunos grados) que el aire que las rodea, lo que aumenta la energía cinética de las moléculas de agua en el tejido esponjoso y así acrecienta la capacidad de difusión del agua.

La conductancia estomatal está fuertemente ligada con la transpiración, ya que bajo un adecuado suministro de agua, los estomas permanecen abiertos, pero bajo condiciones de estrés hídrico, los estomas se cierran influyendo en la transpiración. Existen varios métodos para determinar la transpiración, una de ellas es por el método gravimétrico, esto se calcula la transpiración diaria y total; la eficiencia de la transpiración se calcula determinando la relación entre materia seca total producida y el agua total transpirada (Ruiz, 1995). Otra manera es por medio de aparatos especializados (IRGA modelo LI-COR) puede variar el modelo, teniendo varias funciones y esto lo hace a través de un analizador de gases infrarrojos y lo representa en cm seg^{-1} (Cortazar *et al.*, 1995).

En general, la manera de controlar su temperatura es por medio de la transpiración, la cual disipa el calor a través de la pérdida de agua y lo hace por medio de unos poros microscópicos llamados estomas a lo largo de toda la lámina foliar o superficie epidérmica. Los mecanismos de adaptación que adopta la planta para modificar sus estructuras morfológicas o fisiológicas es trascendental en todos los sentidos, y desde el punto de vista económico esta encaminado para aquellas regiones donde el agua es un factor limitante.

2.17. Estomas

La superficie epidérmica de las hojas presenta un gran número de poros microscópicos llamados estomas. La apertura de dichos poros se controla a través de los cambios en el tamaño y forma de dos células especializadas, llamadas células guarda, que flanquean la apertura estomática. Los estomas se encuentran en todas las partes aéreas de la planta, pero son más abundantes en las hojas. Los estomas son rodeados por células subsidiarias, que no difieren en forma del resto de las células epidérmicas tabloides, siendo importantes en la regulación de la apertura del poro estomático; además la frecuencia o densidad estomática que es el número de estomas por unidad de área, presenta una gran componente de variación ambiental, por lo que puede diferir entre plantas de la misma especie, entre hojas de la misma planta y entre sectores de una misma hoja (Esau, 1977).

Debido que la epidermis y la cutícula de los órganos aéreos forman una capa continua, los estomas son las discontinuidades por donde la planta realiza la mayor parte del intercambio de O_2 , CO_2 , vapor de agua y otros gases (Gates, 1980). La forma de los estomas es una característica distintiva de los diferentes grupos de plantas, siendo por ejemplo muy conocida la diferencia entre mono y dicotiledóneas en la forma y distribución estomática (Thomasson, 1997). Por otro lado, la cantidad de estomas presentes en la superficie adaxial (haz) en comparación con la abaxial (envés) es característica distintiva de diferentes especies. Las plantas con mayor número de estomas en el haz son llamadas epiestomáticas, las que tienen mayor número en el envés son hipoestomáticas (caso de la mayoría de las hortalizas), mientras que aquellas con un número aproximadamente igual de estomas en haz y envés son ambiestomáticas (Gates, 1980).

La función primaria de una planta es la fotosíntesis, además de lo anterior se necesita un suministro de bióxido de carbono y un mecanismo para la remoción de oxígeno. Estas necesidades parecen cubrirse adecuadamente por el sistema de espacios intercelulares los cuales se abren al exterior a través de los estomas.

Los estomas merecen una atención especial en cualquier estudio de la transpiración por que la mayor parte del agua escapa a través de ellos. Las cuales difieren morfológicamente y bioquímicamente de sus vecinas y parecen ejercer sobre ellas una influencia considerable (Kramer, 1974).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización geográfica del experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., en Marín, Nuevo León, la cual se ubica a los 25° 23` de Latitud Norte, a los 100° 03` de Longitud Oeste, a una altura de 375 msnm, los meses con mayor precipitación comprende de junio a septiembre, existe una precipitación pluvial que oscila entre los 400 a 700 mm anuales.

3.2. Características generales del área

El clima de esta región es semiárido, la temperatura media anual es de 21.9 °C, los meses mas cálidos son junio, julio y agosto con temperaturas máximas mensuales de 37 ° C, y durante los meses de diciembre y enero se registran las mas bajas hasta -9 ° C como lo ocurrido en el 1989 (SMN, 2000).

3.3. Material biológico

El material genético que se utilizó fueron plantas de chile jalapeño, serrano, ancho y anaheim (Cuadro 2).

Cuadro 2. Material genético de chile que se sembró en Marín N. L.

Genotipo	Tipo	Nombre comercial	
1	Ancho (An) (<i>Capsicum annuum grossum</i>)	HMX6670	ta
2	Anaheim (AH) (<i>Capsicum annuum</i> L.)	Joe Parker	tb
3	Jalapeño (Ja) (<i>Capsicum annuum annuum</i>)	HMX6667	ta
4	Serrano (Se) (<i>Capsicum annuum acuminatum</i>)	Tampiqueño 74	tc

[†] Materiales comerciales

^a Harris Moran

^b Fax seed

^c Inifap

3.4. Materiales y equipos

Para la realización de este experimento, se utilizaron los siguientes materiales: semillas de chile; charolas de poliestireno de 200 cavidades para propagar plántulas de chile; sustrato Sunshine[®] No. 3, sustrato Peat moss, tierra y perlita como medio de soporte; pala para soltar y homogenizar el sustrato; plástico para envolver las charolas una vez sembradas e incrementar la temperatura y promover la germinación; marcadores y etiquetas para identificar el material biológico en las charolas, bolsas de polietileno de color negro con longitudes de 30x30 cm para el establecimiento de las plantas de chile; regadera manual de jardín, atomizador

manual para asperjar agroquímicos: Previcur[®] para prevenir y combatir enfermedades del suelo, Confidor[®] insecticida (*Bemisia tabaci*), Mancozeb[®] y Aliette[®] secadera (*phithophthora capsici*), Amino forte[®], Ultrasol[®], NO₄Ca₃, Urea, Triple 17, Poliquel[®], Maxi Grow[®] fertilizantes solubles, Raizal 400[®] para promover e incrementar raíces; tutores para las plantas; rafia, regla métrica para medir la altura de planta, microscopio electrónico OLYMPUS[®] (40x) para cuantificar estomas, barniz o esmalte para uñas, sacabocados, agua desionizada, porta objetos, cubre objetos, tubos de ensaye PYREX[®] 13x100 con tapa, un autoclave, etiquetas, vaso de precipitado 100 ml, termómetro máxima y mínima BRANAM[®], Baño María PRESICION Cat No. 51221064, una bascula Mettler Toledo PB 8001, morteros, un congelador, bolsas zipplot, nitrógeno líquido, acetona 80%, filtros Wathman No. 1, embudos, frascos de 150 ml con tapa, espectrofotómetro MILTON ROY spectronic 21D, conductivímetro HANNA[®], equipo Photosynthesis System Li-cor, Inc. Modelo LI-6400; Porómetro de estado constante Inc. modelo LI-COR 1600; balanza analítica y libreta de campo.

3.5. Preparación del sustrato

La siembra se realizó en forma manual. Se utilizó el sustrato Sunshine[®] No. 3, se humedeció homogenizando perfectamente, para favorecer el proceso de germinación de la semilla, el uso de este sustrato permite el buen sostén, drenaje, aireación y buen desarrollo de raíces.

3.5.1. Llenado de charolas

Se utilizaron charolas de poliestireno de 200 cavidades, se colocó el sustrato previamente humedecido dentro de las cavidades, hasta que se logró un buen llenado, y se dio una adecuada compactación y uniformidad de sustrato en la charola.

3.5.2. Preparación de la semilla y la siembra

Se depositó una semilla por cavidad, enterrándola a 5 mm, luego se cubrió con una ligera capa del mismo sustrato, posteriormente fueron llevadas al invernadero de propagación para después taparlas con plástico para aumentar la temperatura y favorecer la germinación. Una vez germinadas las semillas, se mantuvo la humedad, asperjando con una regadera manual.

3.5.3. Fertilización

La fórmula de fertilización que se utilizó fue la 180-180-160, los cuales se distribuyeron en el pre-transplante a razón de 30% N, 50% P, 50% K. las aplicaciones se realizaron en forma manual. El resto (70% de N, 50% P, 50% K) se distribuyó durante el ciclo de cultivo.

3.5.4. Establecimiento de los genotipos

Cuando la plántula presentó aproximadamente ocho hojas verdaderas, con una altura promedio de 10-12 cm, se transplantó en macetas de 4 kg de sustrato en una mezcla de peat moss, tierra y perlita en una relación 40:40:20.

A los doce días después de haber transplantado, se les dio el tratamiento de temperatura por 65 días, los tres tratamientos en el día estuvieron a temperatura ambiente y en la noche fueron sometidas a tres diferentes temperaturas nocturnas en el que iniciaban a las 19:30 horas y se sacaban del tratamiento a las 7:00 horas aproximado de la mañana del día siguiente. Estas temperaturas nocturnas fueron las siguientes: temperatura baja con una temperatura mínima promedio de 17.5 ° C en un espacio acondicionado con dicha temperatura; temperatura ambiente con un promedio de 24 ° C utilizada como testigo y temperatura alta con un promedio de 30.5 ° C en un invernadero (Cuadro 3). Cabe señalar que durante el día, los tres tratamientos tuvieron las mismas condiciones (aplicaciones de productos, agua, *etc.*). Estos sitios de evaluación se encuentran ubicados en el Centro de Investigaciones Agropecuarias de la Facultad de Agronomía de Marín de la U.A.N.L.

Cuadro 3. Temperaturas mínima y máxima, promedio de 75 días durante los tratamientos de temperaturas nocturnas del experimento.

Tratamiento (Temperatura)	Promedio de temperatura media nocturnas (° C)	
	Minima	Máxima
(1) Alta (TA)	30.5	35
(2) Ambiente (TAm)	24	28
(3) Baja (TB)	17.5	23

3.6. Variables de estudio

Las variables del experimento que se tomaron en cuenta, se describen a continuación:

3.6.1. Altura de planta

Se realizaron tres mediciones durante los tratamientos de temperaturas nocturnas para monitorear la altura: la primera a los 20 días después del transplante (DDT), la segunda a los 40 DDT y la tercera a los 68 DDT. Esta última medición fue el valor que se utilizó en el análisis de datos. Se midió desde la superficie del suelo hasta el último punto de crecimiento de la planta con una regla métrica (cm). Se seleccionaron seis plantas al azar y representativas de cada genotipo, los resultados individuales obtenidos de las seis plantas se sumaron y dividieron entre el mismo número de plantas de cada genotipo para obtener un promedio de altura.

3.6.2. Fotosíntesis

Se realizó la medición a los 64 días después del trasplante durante los tratamientos de temperatura nocturna. Se seleccionaron tres plantas al azar y representativas de cada genotipo. La lectura de la fotosíntesis, conductancia, radiación fotosintéticamente activa (PAR), transpiración, temperatura de la hoja y temperatura del aire se realizó con el equipo portátil Photosynthesis System Li-cor, Inc. Modelo LI - COR 6400 (Lincoln, USA), los pasos que siguieron fueron los siguientes:

1. Se calibró la consola de control de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
2. Se seleccionó el área específica de la hoja en el primer estrato de la planta en una hoja ya formada.
3. Se colocó la cámara de asimilación del CO₂ en la parte de la hoja y se tomó la lectura después de que se estabilizó el aparato en la lectura correspondiente.

3.6.3. Transpiración

A los 65 días después del trasplante se realizó la lectura. Las mismas plantas seleccionadas anteriormente (tres plantas) al azar y representativas de cada genotipo, se tomó la lectura de transpiración, resistencia, quantum, temperatura de la hoja y temperatura del aire, el dato se obtuvo con un Porómetro de estado constante (Steady State Porometer) LI – COR, Inc. Modelo LI-1600 (Lincoln, USA).

3.6.4. Densidad estomática

A los 50 días después del trasplante se realizó la medición; se tomaron las hojas en tres estratos de la planta (superior, media e inferior) utilizando la superficie foliar del haz y envés. Se tomaron impresiones foliares por medio de la técnica de resina, la cual consistió en poner una pequeña película de resina sobre la superficie foliar; se dejó secar la muestra (15 a 20 minutos aproximado) posteriormente se extrajo con unas pinzas. La muestra se colocó sobre un portaobjetos de vidrio. Después se observó en el microscopio electrónico y se hizo la cuantificación. En cada impresión foliar se realizaron conteos de estomas en tres campos (40X) del microscopio elegidos en forma aleatoria considerando que cada campo posee un área de 0.049 mm^2 , se calculó el número de estomas por mm^2 . El promedio de los tres campos fue el valor que se utilizó en el análisis de datos. Cabe destacar, que se realizó el conteo individual del haz y envés para después realizar la sumatoria final dando como resultado la frecuencia estomática o la densidad estomática, que es el número de estomas por unidad de área (Esau, 1977).

3.6.5. Extracción de clorofila

A los 49 DDT después de aplicar el tratamiento de temperatura nocturna, se seleccionaron tres plantas al azar y representativas de cada genotipo. Se colectaron muestras del tejido vegetal (hojas). Se pesó un gramo de hoja sin nervadura en una balanza analítica. En un mortero contenido el gramo de la hoja vegetal se agregó una porción de nitrógeno líquido para pulverizar el tejido sin perder las propiedades de la muestra. Posteriormente se agregó 100 ml de acetona al 80 % distribuido en porciones, macerando y filtrando la muestra hasta extraer el total de la clorofila de la muestra, luego se leyó la muestra con un espectrofotómetro previamente calibrado con una absorbancia de 645, 649 y 665 nm de longitud de onda, posteriormente se calculó el contenido de clorofila tipo *a* y *b* de cada una de las muestras por medio del método de Winterman y De Mots (1965) mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = 13,70 A_{665} - 5,76 A_{649}$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (mg.L}^{-1}\text{)} = 25,80 A_{645} - 7,60 A_{665}$$

Donde los números después de la letra A indican la medición de absorbancia con el espectrofotómetro a las longitudes de onda respectivas. Los valores de clorofila se obtienen en mg mL⁻¹ (Rodríguez *et al.*, 1996).

3.6.6. Prueba de resistencia de temperatura de la membrana celular (C.E.)

Para estimar el porcentaje de daño de la membrana celular, se colectaron seis muestras de hojas (discos) en cada tubo de ensaye (dos tubos de ensaye igual a doce discos), de los cuales un tubo de ensaye de cada tratamiento se sometió a temperatura de prueba de 40 ° C a baño María por dos horas y el otro juego de tubos de ensaye se dejaron reposar. Después del tratamiento los dos tubos de ensaye se dejaron por 24 horas a 5 ° C, pasado este tiempo se midió la conductividad eléctrica de la solución. Posteriormente, los dos tubos de ensaye por muestra conteniendo los discos de hojas, se sometieron a la autoclave a temperatura de 120 ° C por dos horas para romper la pared celular de las células; después de dejarlos enfriar a temperatura ambiente se midió la conductividad eléctrica; esta lectura se consideró como el 100 % del daño de la membrana celular.

Por diferencias de la conductividad eléctrica, se estimó el porcentaje de daño del tejido vegetal con el propósito de determinar los niveles de tolerancia a las temperaturas (tratamientos) definidas con anterioridad.

Con las dos lecturas de C. E., se obtuvieron los datos necesarios para estimar el porcentaje de daño de la membrana celular utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de daño} = 1 - [1 - (T_1/T_2) / 1 - (C_1/C_2)] * 100$$

Donde:

T = Temperatura tratamiento (baño maria 40 ° C)

C = Temperatura del testigo.

C_1 = Lectura de C. E., antes de introducir las muestras en el autoclave

C_2 = Lectura de C. E., después de introducir las muestras en el autoclave

(Blum, 1988).

3.7. Análisis estadístico

A las mediciones obtenidas de las variables consideradas en el experimento se les practicó un análisis de varianza con un modelo de un completamente al azar combinado para cada una de las variables, para probar la Hipótesis y determinar si hay diferencias significativas entre genotipos; posteriormente las variables que resultaron con diferencias significativas, se hizo una comparación de medias utilizando la prueba DMS; cada tratamiento consistió de 40 plantas con 3 repeticiones. Se corrieron los datos utilizando el paquete PC SAS versión 8.0 (SAS Institute, 1999).

El modelo el cual se efectuó el análisis de varianza para las características consideradas en el experimento, fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + T_k + (LT)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$i = 1, 2$ y 3 . (Temperatura nocturna)

$j = 1, 2$, y 3 (Repeticiones)

$k = 1, 2, 3, 4$. (Genotipos)

$Y_{i,j,k}$: Denota la observación del genotipo k en la temperatura nocturna i .

μ : Efecto verdadero de la media.

L_i : Efecto de la i -ésima temperatura nocturna.

T_k : es el efecto del k –ésimo genotipo

(LT) μ_{jk} : es el efecto de la interacción entre el genotipo k y la temperatura nocturna i

$\epsilon_{i,j,k}$: Efecto del error experimental de la i,j,k –ésima observación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información generada en el experimento fue sometida a un análisis de varianza (ANVA) (Cuadros 4 y 5) para probar las Hipótesis planteadas. En los cuadros mencionados aparecen los cuadrados medios para las fuentes de variación del modelo de cada una de las variables analizadas.

Cuadro 4. Concentrado de los cuadrados medios de los análisis de varianza para: altura de planta final (APF), densidad estomática total (DET), conductancia (COND) y transpiración (TRAN). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

FV	APF	DET	COND	TRAN
Gen	875.43**	25096.2 ^{NS}	0.117**	8.43 ^{NS}
Temp	275.86**	100047.6**	0.127**	31.60*
Gen*Temp.	80.82*	10543.3 ^{NS}	0.058*	3.41 ^{NS}
Error	22.80	10591.1	0.022	9.30
C. V., %	8.82	20.34	34.74	30.58

Nivel de significancia con probabilidad de 95 % y 99%. ^{NS} = no significativo. * Diferencia Significativa.
** Diferencia Altamente Significativa.

Cuadro 5. Concentrado de los cuadrados medios de los análisis de varianza para: clorofila a (CLRa), clorofila b (CLRb), fotosíntesis (FOT) y el porcentaje de daño de la membrana celular (DAÑO). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

FV	CLRa	CLRb	FOT	DAÑO
Gen	21.45**	5.10*	57.44**	1803.58**
Temp	21.54**	6.66**	12.03 ^{NS}	531.77*
Gen*Temp.	5.80 ^{NS}	1.98 ^{NS}	40.46 ^{NS}	1349.11**
Error	2.50	1.15	16.35	147.23
C. V., %	20.49	22.69	12.53	31.90

Nivel de significancia con probabilidad de 95 % y 99%. ^{NS} = no significativo. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

4.1. Altura de planta

Para la variable altura de planta final (APF), el dato se tomó a los 68 días después del transplante (DDT). Los cuadrados medios (Cuadro 4) mostraron para las fuentes de variación de genotipo y temperatura un efecto altamente significativo; mientras que el factor de interacción de genotipo x temperatura mostró diferencia significativa. Debido a la significancia de los análisis de varianza combinado de la interacción, la prueba de medias para genotipos se realizó por separado en cada temperatura (Cuadro 6).

Cuadro 6. Medias entre genotipos y temperaturas de la variable altura de planta final (APF). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

Gen	Tipo	<u>Altura de planta final</u>								
		<u>TA</u>	DMS	DMS	<u>TAm</u>	DMS	DMS	<u>TB</u>	DMS	DMS
			gen	tem		gen	tem		gen	tem
1	An	70.6	A	A	65.3	A	A	57.0	A	B
2	Ah	48.6	B	A	50.3	B	A	50.6	A	A
3	Ja	46.0	B	A	40.6	C	A	40.6	C	A
4	Se	70.0	A	A	61.0	A	B	48.6	B	C

TA = temperatura alta; TAm = temperatura ambiente; TB = temperatura baja. An = ancho; Ah = anaheim; Ja = jalapeño; Se = serrano. DMS = Diferencia mínimo significativa (0.05%). Gen = genotipo; tem = temperatura.

En este cuadro se observa que el genotipo de chile tipo ancho fue el que registró la mayor altura en los tres tratamientos de temperatura nocturna (TA, TAm y TB) con valores de 70.6, 65.3 y 57 cm, respectivamente, al observar una tendencia superior en la temperatura alta, a esto se le suma sus características morfológicas propias de poseer un porte alto. El tipo serrano tuvo un comportamiento en altura casi similar que el anterior, porque demostró también valores altos en los tratamientos de TA y TAm con 70 y 61 cm, excepto en el tratamiento de TB en donde destaca el tipo Anaheim con 50 cm, éste último su respuesta se le atribuye porque responde bien a condiciones frescas comparado con los otros *Capsicum*; mientras que el tipo jalapeño fue el que demostró la menor altura entre los tipos de chile de los tres tratamientos. Sin embargo, al comparar las alturas de los tipos chile entre las temperaturas, observamos que el tipo anaheim y el jalapeño reflejaron un

comportamiento similar, porque su respuesta fue muy parecida en los tres tratamientos de temperaturas nocturnas.

En la Figura 1 se aprecia que la mayor altura de planta (APF) lo manifiesta el tratamiento TA, mientras que en el tratamiento TB se presenta la menor altura, pudiera deberse que las plantas estando en un ambiente de baja temperatura fuera de su óptimo sin entrar a un nivel crítico, el metabolismo de sus funciones fisiológicas se detiene y por ende sus procesos vitales fluctúan de manera lenta; consistentemente se observa que las plantas de Chile, al incrementarse la temperatura nocturna muestra su influencia sobre la elongación del tallo; sin embargo, los genotipos no responden de la misma manera aun estando bajo las mismas condiciones. Serrano (1978) hace énfasis que el Chile se adapta a climas tropicales, su temperatura óptima la obtiene a partir de los 25 °C y su máximo es de 40°C, rango en el que obtiene una mayor altura, producción de tallos y área foliar. Dentro de este rango se encuentra la temperatura alta promedio máxima de este experimento que fue de 35 °C. También se relaciona con lo mencionado por Nilwik (1981) quien estudió el efecto de la temperatura (día y noche) e irradiación en *Capsicum annuum* L.; observó que la iluminación y las altas temperaturas incrementaron la altura de planta, el número de hojas, el área foliar, mientras que una baja temperatura diurna incrementó la tasa de asimilación neta y decreció la tasa de área foliar.

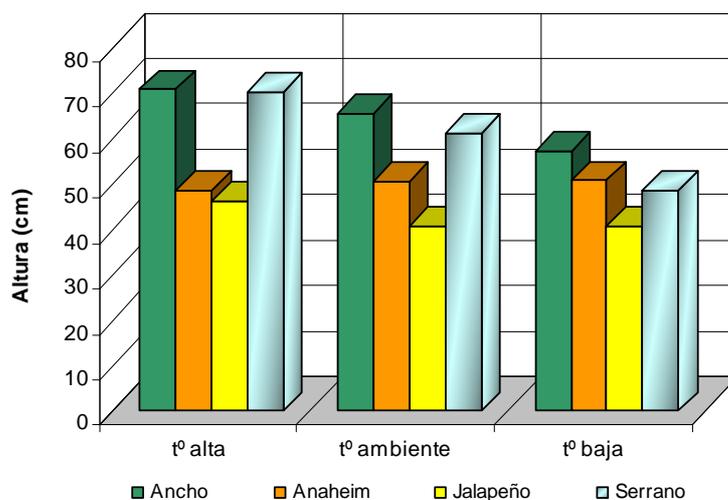


Figura 1. Altura promedio de los tipos de chile, bajo efecto de temperaturas. Respuesta fisiológica en plantas de diferentes especies de chile, bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

4.2. Densidad estomática total

La evaluación de esta variable se realizó a los 65 días después del tratamiento de temperatura nocturna, que consistió en un conteo individual del haz y envés para después realizar la sumatoria, quedando la frecuencia estomática o densidad estomática, que se definió como el número de estomas por unidad de área (Esau 1977). En el Cuadro 4 anterior se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza, se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para el factor temperatura, mientras que para los factores de genotipo y la interacción fueron no significativos. Cabe destacar que en el análisis de varianza para el factor genotipo no detectó diferencias; sin embargo en la prueba de medias (LSD) se observan diferencias, debido a esto se presenta la comparación en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Medias para la variable densidad estomática (mm²) en el haz, envés y total de los genotipos evaluados. Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

Gen	Tipo	<u>Haz</u>		<u>Envés</u>		<u>Total</u>	
		Media		Media		Media	
1	Ancho	112	A B	387	A	499	AB
2	Anaheim	145	A	436	A	581	A
3	Jalapeño	98	B	362	A	459	B
4	Serrano	83	B	401	A	484	AB

La comparación de medias de genotipos, para la densidad estomática del haz (Cuadro 7), el tipo anaheim y ancho obtuvieron los mayores valores promedio con 145 estomas mm² y 112 estomas mm² en el haz, respectivamente. Los valores más bajos lo obtuvieron el tipo jalapeño con 98 estomas mm² y serrano con 83 estomas mm²; sin embargo, las medias de la densidad de estomas del envés (Cuadro 7), todos los tipos de chiles presentaron las medias estadísticamente iguales; sin embargo el tipo anaheim tubo los mayores valores. Por tal motivo, la densidad estomática total (DET) estuvo dictado por el mayor número de estomas en el haz; en este caso el tipo de anaheim mostró superioridad comparado con el resto con un total de 581 estomas.

De acuerdo con los resultados por su cantidad y distribución de estomas, los tipos de chile estudiados, se clasifican como hipoestomáticas; por poseer el mayor número de estomas en el envés y que son casos particulares de las plantas C₃ (Gates, 1980; Leegod, 1993). Por otra parte, Gates (1980) confirmó que la densidad

de estomas presentes en la superficie del haz en comparación con el envés es una característica distintiva que difiere entre las especies; al igual que la forma y la distribución de los estomas, siendo muy conocida la diferencia entre mono y dicotiledóneas (Thomasson, 1997).

La mayor densidad estomática del tipo Anaheim, pudiera deberse a la morfología de la hoja que es más ancha comparada con la de los otros tipos de chile; además pudiera estar asociado a su menor tolerancia al calor, ya que responde bien a condiciones frescas comparados con los otros *Capsicum* evaluados, lo anterior posiblemente está asociado con la densidad estomática, como consecuencia la cantidad de agua por transpirar es mayor por efecto natural refrigerante al estar expuesto a un ambiente con temperaturas altas. Estos resultados concuerdan con lo reportado por William y Stimart (2004), quienes mencionaron que la densidad estomática es una característica compleja que puede ser heredado y es sensible al ambiente, por lo que puede ser modificado.

En relación a la densidad estomática entre los tratamientos de temperatura nocturna en el Cuadro 8, se muestra la comparación de medias, el tratamiento de TA fue el que demostró el mayor número de estomas tanto en el haz, como en el envés y por consiguiente se reflejó en la DET destacando el valor promedio de 603 estomas mm^2 en el tratamiento de TA lo que representa un 42 % mayor que TAm (testigo) con 421 estomas mm^2 y que el tratamiento TB superó en un 18 % al testigo con un total de 494 estomas mm^2 .

Cuadro 8. Medias del haz, envés y densidad estomática total para temperaturas. Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

Temp	Haz		Envés		Total	
	Media		Media		Media	
TA	130	A	472.2	A	603	A
TAm	87	B	334.4	B	421	B
TB	110	A B	383.2	B	494	B

TA = temperatura alta; TAm = temperatura ambiente; TB = temperatura baja.

De acuerdo a estos resultados, la temperatura alta siempre manifestó mayor número de estomas mm^2 , independientemente del haz y envés. Esta respuesta de los genotipos, en función del ambiente, sea un mecanismo de adaptación o de defensa para favorecer un mayor enfriamiento lo que afectaría por igual a la conductancia y la transpiración.

Estos resultados se relacionan con los obtenidos por Piña (1994), quien mencionó que el carácter hipoestomático no es una característica fija, por lo que es susceptible a cambiar en respuesta a estímulos ambientales en ciertas etapas de crecimiento de la planta. Wilkinson (1979) y Kürschner *et al.* (1998) señalaron que la densidad estomática es afectada por condiciones estresantes tanto ambientales como nutricionales. Por otra parte Esau (1977) mencionó que la densidad estomática puede diferir entre plantas de la misma especie, entre hojas de la misma planta y entre sectores de una misma hoja. Otros estudios ayudan a corroborar con lo citado por Col y Dobrenz (1970); Kleinhenz *et al.*, (1995); Jarvis y Davies (1997); Nayeem (1998); Van Resburg *et al.*, (1999); William y Stimart (2004), quienes

mencionaron que los estomas aparte de la sensibilidad al ambiente está relacionado con la tolerancia al estrés y a las temperaturas extremas.

En la Figura 2, muestra la influencia de la temperatura sobre los genotipos evaluados, destacando el tratamiento TA por que presentó mayor frecuencia estomática en el haz y en el envés. Por otra parte el genotipo con mayor número de estomas alude al tipo anaheim en el tratamiento de TA y TB, mientras que el ancho mostro superioridad en el tratamiento de TAm, pudo deberse a la respuesta inmediata ante estrés por temperatura promoviendo la densidad estomática como mecanismo de termorregulación.

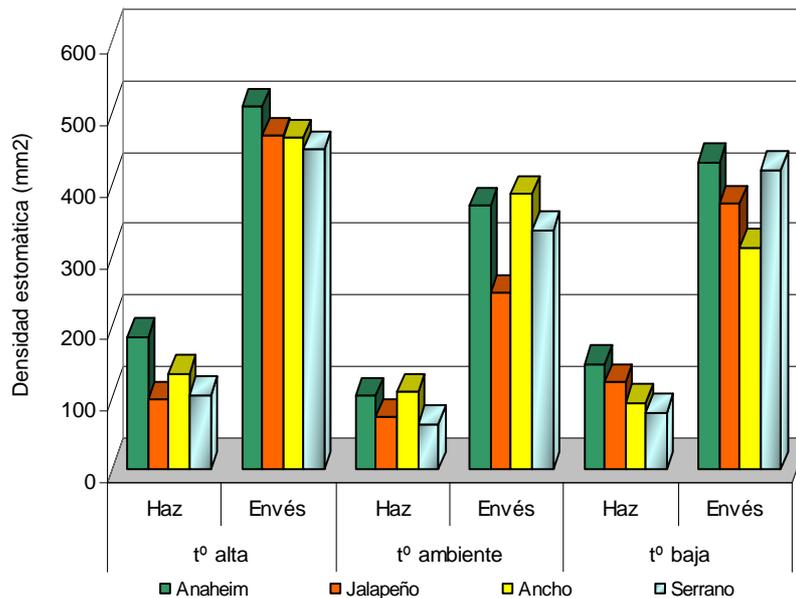


Figura 2. Promedio del número de estomas por unidad de superficie del haz y envés. Respuesta fisiológica en plantas de diferentes especies de Chile, bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

4.3. Conductancia

Los resultados de los análisis de varianza del Cuadro 4, aparece la variable conductancia estomática (COND) mostrando diferencias altamente significativas para genotipo y temperatura ($p \leq 0.01$); sin embargo en la interacción solo mostró diferencia significativa. Debido a la significancia de la interacción del análisis de varianza combinado, la prueba de medias para genotipos se realizó por separado en cada temperatura.

Al realizarse la comparación de medias entre genotipos (Cuadro 9), para esta variable se observan que en el tratamiento de TA afectó a todos los genotipos por igual estadísticamente; sin embargo en el tratamiento de TAm fue diferente porque presentó los valores más altos de conductancia y todavía más marcado en el tratamiento de TB conformado por los tipos jalapeño, ancho y anaheim; no obstante, el tipo serrano hizo la diferencia entre los tipos de chile evaluados formando otro grupo estadísticamente. En el mismo cuadro se observa la comparación de medias dentro de temperaturas, que independientemente de los valores obtenidos en el tratamiento de TA, el tipo serrano fue el genotipo con menor conductancia estomática dentro de los otros tratamientos, por sus valores bajos y esto refleja la capacidad de apertura y cierre estomático al presentar susceptibilidad en el tratamiento de TB y mucho más en el tratamiento de TAm.

Cuadro 9. Comparación de medias entre genotipos de la variable conductancia estomática (COND). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

Gen	Tipos	<u>Conductancia estomática</u>								
		<u>TA</u>			<u>TAm</u>			<u>TB</u>		
		$m^2 s^{-1}$	DMS	DMS	$m^2 s^{-1}$	DMS	DMS	$m^2 s^{-1}$	DMS	DMS
			gen	tem		gen	tem		gen	tem
1	An	0.256	A	B	0.549	A	A	0.658	A	A
2	Ah	0.315	A	B	0.588	A	A	0.533	A	A
3	Ja	0.318	A	B	0.518	A	A	0.638	A	A
4	Se	0.371	A	A	0.170	B	B	0.232	B	A

TA = temperatura alta; TAm = temperatura ambiente; TB = temperatura baja. An = ancho; Ah = anaheim; Ja = jalapeño; Se = serrano. DMS = Diferencia mínimo significativa (0.05%). Gen = genotipo; tem = temperatura.

Estos resultados pudieran estar parcialmente asociados con el menor número de estomas que se presentó en la variable anterior, ya que el tipo serrano se encuentra en el grupo con menor densidad estomática. Los valores altos de conductancia de los tipos jalapeño, ancho y anaheim coinciden con una mayor transpiración. Resultados que se corroboran con los obtenidos por Carlson (1990) quien mencionó que una mayor conductancia implica una mayor apertura estomática y que están fuertemente influenciados por la temperatura y la disponibilidad de agua; en cambio Ketellapper (1963) mencionó que la concentración del dióxido de carbono parece desempeñar un importante papel, ya que influye en el cambio de tamaño del poro estomático.

De acuerdo a estos valores, hubo una relación con los incrementos de temperatura; para ser preciso, la conductancia fue mayor en las temperaturas bajas,

debido a que las plantas que estuvieron bajo este tratamiento los estomas permanecieron abiertos. Lo anterior se contraponen con lo expuesto por Nobel (1991), quien mencionó que los estomas de algunas plantas no se abren a temperaturas muy bajas, aun ante la luz intensa. Pero hay estudios que indican que temperaturas foliares mayores de 30°C, principalmente en plantas mayormente expuestas a la radiación solar, inducen a un cierre estomático. Asimismo, nuestros resultados se relaciona con investigaciones previas, que hacen énfasis al mencionar la relación que existe entre la transpiración y la conductancia estomatal, bajo un adecuado suministro de agua, los estomas permanecen abiertos pero bajo condiciones de estrés hídrico los estomas se cierran influyendo negativamente en la transpiración (Villego 1974; Rodríguez, 1986; Carlson, 1990). Salisbury y Ross (1991) mencionaron que algunas plantas, las altas temperaturas provocan la apertura de los estomas en vez de su cierre, aumentando la transpiración y reduciéndose de esta forma la temperatura de la hoja. Carlson (1990) documentó que también hay otros factores ambientales que actúan sobre la conductancia estomática como la temperatura.

La temperatura influye sobre la conductancia estomática, pero su efecto no es tan claro como el de la radiación. El efecto de la radiación comúnmente se produce bajo condiciones de campo y puede producir una saturación por altas cantidades de luz y su limitación es mayor para que ocurra el proceso de la fotosíntesis (Long *et al.*, 1994; Ohad *et al.*, 1990; Feder and Hoffman, 1999; Wang *et al.*, 2004). De tal manera que las cantidades, calidad y dirección de la luz inciden en la conductancia estomática (Quail *et al.*, 1996; Rajapakse *et al.*, 1999). Otros resultados como los de

Ibarra *et al.*, (2004) en el cultivo de sandía y pepino, observaron que la conductancia pudo ayudar a explicar los cambios en la fotosíntesis unitaria; es decir, que los mayores valores de fotosíntesis fueron debidos en gran parte a mayores valores de conductancia estomática. Es importante hacer notar la amplia relación de la conductancia con la transpiración y frecuencia estomática sobre los materiales evaluados por efecto de la temperatura, ya que un factor conlleva a otro.

4.4. Transpiración

Los cuadrados medios del análisis de varianza para la variable transpiración (TRANS) en el Cuadro 4, mostraron diferencias significativas para el factor temperatura con $p \leq 0.05$, mientras que para los factores de genotipo y la interacción fueron no significativos; debido a esto en el Cuadro 10 se muestra la comparación de medias.

Cuadro 10. Comparación de medias entre genotipos de la variable transpiración (TRANS). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

Genotipo	Tipo	Media ($\mu\text{g H}_2\text{O s}^{-1}$)	
1	Ancho	10.75	A
3	Jalapeño	10.47	A
2	Anaheim	10.08	A
4	Serrano	8.58	A

$\mu\text{g H}_2\text{O s}^{-1}$ = es el flujo de vapor de agua transpirada, microgramo de agua por segundo.

Aunque no hubo diferencias significativas entre genotipos; el tipo serrano con $8.58 \mu\text{g H}_2\text{O s}^{-1}$ numéricamente mostró los valores más bajos, asociado posiblemente con la menor conductancia.

La comparación de medias para el tratamiento de temperaturas nocturnas (Cuadro 11) muestra dos grupos diferentes. El primer grupo lo ocupa el tratamiento TB teniendo un valor superior promedio de $9.22 \mu\text{g H}_2\text{O s}^{-1}$ transpirando un 21 % mas que el tratamiento de TAm con valor de $7.30 \mu\text{g H}_2\text{O s}^{-1}$ y un 28 % más que el tratamiento TA con $6.64 \mu\text{g H}_2\text{O s}^{-1}$.

Cuadro 11. Comparación de medias para temperaturas de la variable transpiración (TRANS). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

Tratamiento	Media ($\mu\text{g H}_2\text{O s}^{-1}$)	
3 (TB)	9.22	A
2 (TAm)	7.30	B
1 (TA)	6.64	B

TA = temperatura alta; TAm = temperatura ambiente; TB = temperatura baja.

De acuerdo a estos valores (Cuadro 11), se observa que la temperatura tiene una influencia directa sobre la transpiración, dado que tuvo una tendencia casi lineal que conforme disminuyó la temperatura, las plantas aumentaron la transpiración. Una posible explicación a esto, es porque las plantas de este tratamiento (TB) han sido pre-acondicionadas a bajas temperaturas; por lo que al exponerlas a temperatura alta diferente a las que fueron crecidas, las plantas tienden a modificar el comportamiento en base a la transpiración (Ohad *et al.*, 1990; Deepak and Heckathorn 2006). No sucedió lo mismo con el testigo TAm y el tratamiento de TA;

aunque este tratamiento tuvo mayor densidad estomática, la cantidad de agua transpirada fue menor durante el día comparado con el TB. Estos datos se relacionan con el trabajo de Bar-Tsur *et al.* (1985) quienes estudiaron el efecto de temperaturas altas (35 °C) y moderadas (25 °C) sobre la transpiración y resistencia estomática en dos cultivares de tomate saladette; el primer tratamiento presentó alto amarre de fruto aun en temperaturas altas y el segundo cv Roma VF, presentó bajo amarre de fruto; después de 48 horas de aclimatación a 35 °C, observaron un incremento de 400 % mayor en la transpiración de los cultivares en la temperatura alta, en relación al tratamiento con temperatura moderada, transpirando ligeramente menos el cv. Saladette; el incremento de la transpiración correspondió con una disminución a la resistencia estomática.

De esta manera se observa que la transpiración juega un papel muy importante en la refrigeración de la planta o control de temperatura interna con la del ambiente. Resultados similares presentados por Gates (1980); Sivori *et al.*, (1980); Bart Tsur *et al.*, (1985) y Salisbury y Ross (1991) establecieron que una forma de controlar la temperatura en la planta es por medio de la transpiración, aunque es un mal inevitable, debido a la necesidad que tienen las plantas de realizar el intercambio gaseoso. Es imprescindible señalar la relación estrecha que existió entre la transpiración, la conductancia y la densidad estomática, ya que en este estudio, el chile tipo serrano fue el menos transpiró, paradójicamente fue el que menos conductancia presentó, asimismo con la menor densidad estomática. Aparentemente, los cambios anatómicos son respuestas morfogenéticas de la planta para contrarrestar los efectos negativos, cambios que pueden ser importantes en la

eficiencia del uso del agua y la tolerancia de la planta a algún estrés (Shannon 1985; Pio *et al.* 2001).

4.5. Concentración de clorofila a y b

Los cuadrados medios de los resultados del análisis de varianza para los contenidos de clorofila *a* (CLRa) y clorofila *b* (CLRb) (Cuadro 5), aparecen en las fuentes de variación para genotipo (Gen) y temperatura (Temp) diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), con excepción de la fuente de variación para Gen en la CLRb que solo fue significativo, no obstante en el factor de la interacción Gen x Temp no se encontró diferencia significativa.

Se observa en el Cuadro 12, la comparación de medias para genotipos para ambos tipos de clorofilas; en donde se observan dos grupos estadísticamente diferentes. El primer grupo lo conforma el chile tipo Ancho y el tipo Serrano con valores máximos de 9.19 y 8.89 mg L⁻¹ para CLRa y 5.41 y 5.35 mg L⁻¹ para CLRb; mientras que el segundo grupo, con valores inferiores, se encuentran los tipos Anaheim con 6.65 mg L⁻¹ y Jalapeño con 6.15 mg L⁻¹ para CLRa y para CLRb los valores fueron de 4.23 mg L⁻¹ y 3.95 mg L⁻¹, respectivamente. En todos los genotipos los valores de CLRa, fueron superiores a los de CLRb.

Cuadro 12. Comparación de medias en la concentración de clorofila *a* (CLRa) y clorofila *b* (CLRb) entre los tipos de chile. Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

Gen	Tipo	CLRa mg L ⁻¹		CLRb mg L ⁻¹	
		Media		Media	
1	Ancho	9.19	A	5.41	A
2	Anaheim	6.65	B	4.23	B
3	Jalapeño	6.15	B	3.95	B
4	Serrano	8.89	A	5.35	A

CLRa = clorofila *a*; CLRb = clorofila *b*

Las medias de los genotipos en el contenido de CLRa y CLRb (Cuadro 13) presentan una tendencia decreciente en los valores conforme se aumentó la temperatura. se minimizó el contenido de clorofila. Esto se relaciona con lo mencionado por Ristic *et al.*, (2008) quienes citan que existe una correlación entre el daño que ocasiona la temperatura o el calor a las membranas fotosintéticas (membrana de la tilacoides) y la pérdida del contenido de la clorofila. Estas membranas es donde se encuentran embebidas las clorofilas (*a* y *b*). También se atribuye este daño cuando existen otros tipos de estrés, incluso la fotoinhibición de la luz alta, ya que limita para que ocurra el proceso de la fotosíntesis (Feder y Hoffman, 1999; Wang *et al.*, 2004; Long *et al.*, 1994; Ohad *et al.*, 1990; Schuster *et al.*, 1988; Stapel *et al.*, 1993; Downs *et al.*, 1999; Schroda *et al.*, 1999).

Cuadro 13. Comparación de medias de concentración de clorofila a (CLRa) y b (CLRb) para temperaturas. Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

Trat	Temp	CLRa mg L ⁻¹		CLRb mg L ⁻¹	
		Media		Media	
1	TA	6.64	B	4.36	B
2	TAm	7.30	B	4.26	B
3	TB	9.22	A	5.59	A

CLRa = clorofila a; CLRb = clorofila b. TA = temperatura alta; TAm = temperatura ambiente; TB = temperatura baja.

En el Cuadro 13 se observa la comparación de medias de los tres tratamientos en el contenido de clorofila *a* y *b*, el tratamiento de baja temperatura (TB) sobresalió por poseer los valores mas altos de clorofila con respecto a los demás, con un valor promedio de 9.22 mg L⁻¹ de CLRa y con 5.59 mg L⁻¹ de CLRb; sin embargo, los tratamientos con los valores más bajos en ambas clorofilas fueron para los tratamientos de TA y TAm con 6.64 mg L⁻¹ y 7.30 mg L⁻¹ respectivamente de CLRa.

Debido a que el tratamiento de temperatura baja (TB) obtuvo los mayores valores de clorofila, sustenta lo mencionado por Salisbury y Ross (1994) quienes encontraron que los materiales en altas temperaturas afecta y deteriora la membrana de la tilacoides, que es donde se encuentran las moléculas de clorofila; estas moléculas ocupan un lugar muy importante en el proceso fotosintético y determinante del rendimiento. Por lo tanto una planta que no sufre cambios significativos en la cantidad de clorofila o que en lugar de disminuir por algún efecto aumenta su

producción, pudiera considerarse con mayores posibilidades de tener una mayor producción de biomasa y del rendimiento.

4.6. Fotosíntesis

Al revisar los resultados de los análisis de varianza (cuadrados medios) en el Cuadro 5, de la variable fotosíntesis (FOT), se observa que la fuente de variación genotipo mostró un efecto con diferencias altamente significativas al 0.01, mientras que en el factor temperatura y la interacción fue no significativo.

Con lo anterior, se presenta en el Cuadro 14 la comparación de medias de esta variable. En el grupo con los valores altos de fotosíntesis sobresalen los genotipos Ancho y Anaheim con 34.9 y 33.8 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente, el grupo con los valores mas bajos incluyó los genotipos Jalapeño y Serrano con valores de 30.8 y 29.5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de fotosíntesis.

Cuadro 14. Comparación de medias entre genotipos de la variable fotosíntesis (FOT). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

Genotipo	Tipo	Media ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	
1	Ancho	34.9	A
2	Anaheim	33.8	A B
3	Jalapeño	30.8	B C
4	Serrano	29.5	C

$\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ = micromol por metro cuadrado por segundo. Cantidad de CO_2 de la densidad del flujo de substancia

Este comportamiento en los valores de fotosíntesis resultaron paralelos a la variable anterior, ya que la fotosíntesis depende en gran medida de la calidad y cantidad de luz recibida y fijada por los pigmentos a los centros de reacción de la fotosíntesis. Para el caso de los genotipos Ancho y Anaheim, fueron los que presentaron mayor fotosíntesis, posiblemente es debido a mecanismos más eficientes dentro de los procesos fotosintéticos comparados con los otros tipos de chile evaluados. Esto se relaciona con lo reportado por Maiti (1986), quien mencionó que un proceso fotosintético eficiente está influenciado por el ambiente y el genotipo, indicando que los genotipos pueden tener una respuesta diferencial a la intensidad de luz, lo que se traduce en mayores tasas de fotosíntesis en aquellos genotipos con una mejor capacidad de aprovechamiento de luz.

Considerando lo anterior, el complejo proceso de fotosíntesis, con sus numerosos pasos que ocurren en varias etapas, tienen lugar en distintos compartimentos estructurales, que se ve afectado por diversos factores; que al menos se descartaría la temperatura de acuerdo con lo reportado por Ristic *et al.*, (2008) quienes mencionaron el efecto de daño que provoca la temperatura o el calor a las membranas fotosintéticas; también al factor de estrés por luz, que es una limitación por que provoca el deterioro del transporte de electrones a los centros de reacción de la fotosíntesis (Long *et al.*, 1994; Ohad *et al.*, 1990; Feder and Hoffman, 1999; Wang *et al.*, 2004; Schuster *et al.*, 1988; Stapel *et al.*, 1993; Downs *et al.*, 1999; Schroda *et al.*, 1999; Lindquist, 1980); sin embargo parece estar más

determinado por factores propios de la planta, ya que al menos en el factor temperatura no se mostró un efecto significativo.

4.7. Estabilidad de la membrana celular

La información consignada en los resultados obtenidos en el Cuadro 5 del análisis de varianza, permiten establecer que para la variable porcentaje de daño de la membrana celular, la fuente de variación de genotipo y la interacción de genotipo x temperatura mostraron diferencias altamente significativas con $p \leq 0.01$, mientras que el factor temperatura presentó solamente diferencias significativas. No obstante, por la significancia que hubo en la interacción fue posible presentar en el Cuadro 15, la prueba de medias por separado para genotipos dentro de cada temperatura, así como entre temperaturas para cada genotipo.

Cuadro 15. Comparación de medias entre genotipos y temperaturas de la variable estabilidad de la membrana celular (DAÑO). Respuesta fisiológica en plantas de Chile bajo efecto de tres temperaturas nocturnas.

Tipo	Porcentaje de daño									
	<u>TA</u>	DMS gen	DMS tem	<u>TAm</u>	DMS gen	DMS tem	<u>TB</u>	DMS gen	DMS tem	
An	9.45	B	B	41.03	A	A	15.09	C	B	21.8
Ah	53.29	A	A	3.04	B	B	36.56	B	A	31.1
Ja	44.27	A	B	49.61	A	A	65.71	A	A	53.2
Se	21.61	B	B	52.54	A	A	63.74	A	A	45.7
	32,16			36.66			45.28			

Porcentaje de daño = es el daño sufrido de la membrana celular por medio de la prueba de estabilidad de la membrana celular. TA = temperatura alta; TAm = temperatura ambiente; TB = temperatura baja. An = ancho; Ah = anaheim; Ja = jalapeño; Se = serrano. DMS = Diferencia mínima significativa (0.05%). Gen = genotipo; tem = temperatura.

En el cuadro anterior se presentó la comparación de medias para genotipos dentro de cada temperatura para la variable (porcentaje de daño), se observa que en el tratamiento de TA el tipo Anaheim y el Jalapeño fueron estadísticamente iguales al presentar los valores altos, pero estadísticamente diferente que el Serrano y el Ancho por presentar los valores más bajos; en el tratamiento de TAm el tipo Serrano, Jalapeño y Ancho presentaron los valores altos y valores bajos el tipo Anaheim; en el tratamiento de TB el tipo Jalapeño y el serrano fueron iguales estadísticamente pero diferente al tipo Anaheim y mucho más al tipo Ancho quien presentó el valor más bajo.

De acuerdo a la respuesta observada de cada genotipo entre temperaturas, se observa que el Anaheim presentó una respuesta diferente que el resto de los genotipos, según los valores promedio ya que en las temperaturas extremas (TA y TB) le provocaron una mayor sensibilidad al tratamiento recibido de temperatura a 40°C (de acuerdo a la técnica de estabilidad por Blum, 1988) y que los valores del porcentaje de daño de la membrana celular fueron los más altos en estas temperaturas comparadas con el de la temperatura ambiente que fue el que presentó el menor valor con solo 3.04 % de daño. Posiblemente parte del daño obtenido en el tratamiento de TA, su alto valor pudiera atribuirse porque se adapta bien a condiciones de temperaturas frescas que al someterlo a la prueba de estabilidad de la membrana a 40 °C agravó el daño en los tejidos. Sin embargo al tipo Ancho se posicionó entre los valores más bajos en los tratamientos extremos en TA y TB, que aunque se haya distinguido en el tratamiento de TAm, posiblemente pudo deberse

por el daño causado por el minador de la hoja (*Liriomyza trifolii*) que se presentó en todo el tratamiento, pero el daño fue más severo en este tipo de chile, que al someterlo a la pruebas de estabilidad maximizó el daño. Por lo tanto, de acuerdo a estos resultados, los genotipos que presentaron mayor daño fueron los que no se pre-acondicionaron en temperatura a su ambiente particular, lo contrario con los observados de menor daño al observar el preacondicionamiento.

Los genotipos Jalapeño, Serrano y Ancho presentaron una respuesta positiva en el preacondicionamiento con la temperatura alta (TA), ya que los valores observados en el porcentaje de daño de la membrana celular en esta temperatura fueron los más bajos. Esta diferencia en la respuesta entre genotipos, permite establecer que estos tipos de chile, pudieran reducir los efectos negativos de las altas temperaturas al momento del trasplante, al proporcionarles un tratamiento de preacondicionamiento sometiendo las plántulas, antes del transplante a altas temperaturas como las del presente trabajo (40°C promedio).

Diversas investigaciones han demostrado, que las plantas responden a estímulos ambientales tal es el caso de (Silvertown y Gordon 1989; Bart Tsur *et al.*, 1985; Shen y Li 1982) estos autores trabajaron en diferentes investigaciones en dos cultivares de tomate, mencionaron que aun presentando características de resistencia a temperaturas altas se puede inducir a una mayor resistencia al exponerlas por un tiempo prolongado al calor, lo que suponía que incrementaba su resistencia por la capacidad de aclimatarse. Estas plantas debido a sus mecanismos de adaptación pueden preacondicionarse a factores que en su momento les pueda

provocar estrés, lo hacen desarrollando una tolerancia contra el factor de estrés que produjo el cambio y por consiguiente también contra otros factores de tensión.

En un sentido más profundo consideramos que las plantas de Chile que se pre-acondicionaron desarrollaron cierto mecanismo de adaptación en respuesta al estrés de temperatura, con lo anterior hemos relacionado investigaciones que han llevado a entender y detallar la regulación de las proteínas de choque térmico (HSPs), así como sus mecanismos de acción (Feder and Hoffman, 1999; Wang *et al.*, 2004). Las proteínas de choque térmico (HSPs) son proteínas protectoras de otras proteínas, membranas y otros componentes celulares durante algún estrés provocado por calor o temperatura, estos facilitan la reparación o degradación de proteínas dañadas que estuvieron expuestas por algún desbalance de estrés (Parsell and Lindquist, 1994; De Maio 1999; Wu 1995; Wang *et al.*, 2004). La exposición de organismos por estrés al calor resulta un incremento en la acumulación de HSPs como consecuencia al golpe de calor (Vierling, 1991). Resultados previos han notificado que en plantas nativas aun estando en su mismo hábitat sufren de estrés por temperatura en condiciones de campo (Burke *et al.*, 1985; Kimpel and Key, 1985; Keeler *et al.*, 2000; Merquiol *et al.*, 2002); similares resultados han demostrado la acumulación significativa de HSPs en *solidago altísima* como medio protector al estrés por calor (Deepak and Heckathorn, 2006).

En base a estos estudios, posiblemente estas proteínas estuvieron presentes en las plantas de Chile evaluadas en respuesta a la temperatura. La aparición de estas proteínas también se ha encontrado cuando existen otros tipos de estrés,

incluso la foto inhibición de la luz alta (Feder and Hoffman, 1999; Wang *et al.*, 2004). El estrés por luz ocurre a menudo bajo condiciones de campo y la fotoinhibición es una mayor limitación para que ocurra el proceso de fotosíntesis (Long *et al.*, 1994; Ohad *et al.*, 1990). Como este y otros ejemplos mas, dan la pauta de que las plantas lo hacen desarrollando una tolerancia contra el factor de estrés que produjo el cambio y por supuesto también contra otros factores de tensión que mantienen una relación.

5. CONCLUSIONES

- a) La temperatura alta (TA) incrementó el número de estomas/mm² independientemente del haz y el envés estimulando el efecto en los tipos Anaheim, Ancho y Jalapeño en ese orden.
- b) Los genotipos Jalapeño, Ancho y Anaheim presentaron mayor conductancia y transpiración en TA, lo contrario sucedió en TB, debido posiblemente a que en este rango de temperaturas la demanda transpirativa no es tan alta.
- c) El chile tipo Ancho presentó los valores más altos para el contenido de clorofila *a* (CLRa), *b* (CLRb) y fotosíntesis (FOT), asimismo en el tratamiento de TB se presentó los valores más altos para la concentración de clorofilas.
- d) El régimen expuesto por altas temperaturas (TA) en la noche influyó en un preacondicionamiento para que las plantas respondieran con menor transpiración, conductancia y cierre estomático durante el día.
- e) Los genotipos Jalapeño, Serrano y Ancho presentaron una respuesta positiva en el preacondicionamiento con la temperatura alta (TA), ya que los valores observados en el porcentaje de daño de la membrana celular en esta temperatura fueron los más bajos.

6. BIBLIOGRAFIA

Abugarade, P. J. F. 1990. Evaluación de tres fungicidas como protectores de semilla de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), chile pimiento (*Capsicum annum* L) y Arveja China (*Pisum sativum* L.) para el control de hongos del suelo. Tesis de profesional. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos. 49p.

Allard, R. W., Bradshaw A. D. 1964. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.* 4: 503-507.

Anguiano-Barrales, J. C. 2006. Comportamiento de substancias minerales comerciales en disponibilidad del fósforo, en un suelo calcáreo en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). Tesis Profesional. UAAAN. Saltillo, Coahuila. México. Pp 1-3.

Baltazar, B. 1997. Diversidad genética del cultivo de chile (*Capsicum* spp.) determinada por isoenzimas y RFLPs tipos: serrano, jalapeño, manzano y silvestre en su área de distribución. Proyecto CONABIO No. 6026.

Bancomext, Banco Nacional de Comercio Exterior. 2006. Situación actual de mercados extranjeros para exportación de productos alimenticios. México D.F. www.bancomex.com.mx

Bar-Tsur, A. J. Rudich and B. Bravdo. 1985. Photosynthesis, transpiration and stomata resistance to gas exchange in tomato plants under high temperature. *J. hort. Sci.* 60:3: 504-410

Berry, S. Z. and M. Ratifque Uddin. 1988. Effect of growth regulators on ripening and abscission of pimiento and paprika peppers. *J. Hort Sci.* 17:6: 944-946.

Billings, W. D. 1968. Las plantas y el ecosistema. Tr. Javier Valdés G. Herrera Hnos. Sucesore S. S. A. México. Pp 1 – 48.

Bidwell, R. G. S. 1979. Fisiología vegetal. Primera edición. Guadalupe Gerónimo Cano (Traductor). A. G. T. editor S. A. México D.F. 795 p.

Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. Editorial CRC Press. Boca Raton, Florida, E.U.A. pp. 1- 223.

Bosland, W. P. 1993. Breeding for quality in *Capsicum*. *Capsicum and Eggplant Newsletter*, 12:26-31.

Brauer, H. O. 1983. Filogenética aplicada. Edición Limusa. México. Pp 115-126.

Burke, J. J., J. L. Hatfield, R. R. Klein, and J. E. Mullet. 1985. Accumulation of heat shock proteins in field grown cotton. *Plant Physiology* 78: 394–398.

Carlson, P. S. 1990. Biología de la productividad de los cultivos. A. g. T. editor, S. A. pp. 48-54.

Carrillo, N. C., Vallejo F. A., Estrada E. I. 1991. Adaptabilidad y estabilidad fenotípica de líneas e híbridos de pimentón, *Capsicum annum*, L. *Acta Agronómica* 41(1-4) 21-36.

Casali, V. y Couto, F. 1984. Origen e botánica de *Capsicum*. Informe Agropecuario. Belo Horizonte, Brasil. 10:113: 8-10.

Casseres, E. 1996. Producción de hortalizas. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A. Lima, Perú. Pp. 55,56.

Cole, D. F. and A. K. Dobrenz. 1970. Stomata Density of Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Crop Sci.*; 10: 61-63.

Cortazar, M.N. 1995. *Revista fitotecnia Mexicana*. Julio-Diciembre. 18:2:153.

Crofts, G. C., D. L. Kachson, P. M. Martin, J. C. Patrick. 1971. los vegetales y sus cosechas, fundamentos de agricultura moderna. Editorial AEDOS. Barcelona España. pp. 245.

Dangler, J. M. y S. J. Locascio. 1990. External and internal blotchy ripening and fruit elemental content of trickle-irrigated tomatoes as affected by N and K application time. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 547 - 549.

Deepak, B. and S. A. Heckathorn. 2006. The interactive effects of light and temperature on heat-shock protein accumulation in *solidago altissima* (*asteraceae*) in the field and laboratory. Amer. Jour. Bot. 93(1): 102–109.

Denisen, E. L. 1987. Fundaments of Horticulture. Limusa. México, D. F. pp. 343-344.

De vilmorin, D. F. 1977. El cultivo del pimiento dulce tipo Bell. Ed. Diana. 1era. Edición. México D.F. pp. 15-19; 35-42, 53, 54, 72, 73

De Oteyza, L. G. 1959. Horticultura. Editorial Hispano-America. Barcelona, España. Pp. 396-404.

Downs, C. A., S. L. Ryan, and S. A. Heckathorn. 1999. The chloroplast small heat-shock protein: evidence for a general role in protecting photosystem II against oxidative stress and photoinhibition. *Journal of Plant Physiology* 155: 488–496.

Dwyer, L.M. and D.W. Stewart. 1986. Effects of leaf age and position on net photosynthetic rates in maize (*Zea mays*) Agric. For Meteorol. 37: 29-46.

Eberhart, S. A., Russell W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop science 6:36-40.

Echandi, G. C. R. 2005. Estabilidad fenotípica del rendimiento y adaptación en líneas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) durante la época lluviosa en costa rica. Agronomía Costarricense. San José, Costa Rica. 29: 002: 27-44.

El-Sharkawy, M. A. and J. D. Hesketh. 1964. Effects to temperature and water deficit on leaf photosynthesis rates of different species. Crop Sci. 4:6: 514-518.

Esau, K. 1977. The anatomy of seed plants. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc., New York. pp. 351–359.

Eshbaugh, H. (Consultado 24-09-08). History and exploitation of a serendipitous new crop discovery. Disponible en <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1993/V2-132.htm>.

Esquivel, E. E. 2007. Análisis de la precipitación histórica de la zona norte de México. Instituto nacional de ecología. SEMARNAT. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/gacetitas/367/cambioclimat.html>

Evans, L. T. 1993. Crop Evolution, Adaptation and Yield. Cambridge, University Press. pp: 71.

Evans, G. C. 1972. The quantitative analysis of plant growth, University of California press Los Angeles. P. 734.

Feder, M. E., and G. E. Hoffman. 1999. Heat-shock proteins, molecular chaperones, and the stress response: evolutionary and ecological physiology. *Annual Review of Physiology* 61: 243–282.

Gates, D.M. 1980. Biophysical ecology. Springer-Verlag New York, Inc. New York.

Hans. 1974. Photosynthesis. Institute of molecular Biophysics, Florida State University. Primers edition. 141-145.

Huerres, P. C. y Carballo, L. N. 1987. Hortalizas. Universidad central de la villa. Facultad de Ciencias Agrícolas. Cuba. Pp. 31-48.

Hernández, D. J. 2002. Alta y baja temperatura, en: ecofisiología del estrés de las plantas hortícolas. UAAAN. p 10.

Hoelmer, K.A; L.S. Osborne R. K. Yokomi. 1991. Foliage disorders in Florida associated with feeding by sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*. FL. Entomol. 74: 162- 166.

<http://apps.fao.org/faostat>. 2006. Consulta de bases de datos de producción mundial y comercio internacional de Chile o Pimiento.

<http://www.conabio.gob.mx/institución/cgi-bin/datos.cgi.?Letras=G&Numero=26>

Huerres, P. C. y Carballo, L. N. 1987. Hortalizas. Universidad central de la villa. Facultad de Ciencias Agrícolas. Cuba. Pp. 31-48.

Ibarra, J. L.; M. R. Quezada M.; J. Munguía L. 2004. Efecto del acolchado y microtúneles en el desarrollo y fotosíntesis de sandía y pepino. Memoria del VI congreso iberoamericano para el desarrollo y aplicación de plásticos en agricultura, CIDAPA. Bogotá, Colombia.

Jarvis, A.J. and Davies, W.J. 1997. Whole plant ABA flux and the regulation of water loss in *Cedrella odorata*. *Plant, Cell and Environment* 20: 521–527.

Keeler, S. J., C. M. Boettger, J. G. Haynes, K. A. Kuches, M. M. Johnson, D. L. Thureen, C. L. Keeler JR., and S. L. Kitto. 2000. Acquired thermotolerance and expression of the HSP100/CipB genes of lima bean. *Plant Physiology* 123: 1121–1132.

Kimpel, J. A., and J. L. Key. 1985. Presence of heat shock mRNAs in fieldgrown soybeans. *Plant Physiology* 79: 672–678.

Klages, K. W. H. 1942. Ecological crop geography. The Macmillan Company. USA. Pp. 10–105.

Kleinhenzl, M. D.; J. B. Bamberg, and J. P. Palta. 1995. Use of stomatal index as a marker to screen backcross populations of two wild potato species segregating for freezing tolerance. *Amer. Jour. of Potato Res.* (72):4: 245-250.

Kollmannsberger, H., Rodríguez B. A., Nitz S. y Nuez F. 2006. Dissertation Technical University Munich. (En preparación).

Kramer, N. M. y Ross M. W. 1975. Cultivo del sorgo granífero en los E. U. Editorial Hemisferio sur. Buenos Aires Argentina. Pp 93-111.

Kramer, P. J. 1974. Relaciones hídricas de suelo y planta. Sexta edición. México. Pp. 336-380.

Kürschner, W., I. Stulen, F. Wagner and P. Kuiper. 1998. Comparison of palaeobotanical observations with experimental data on the leaf anatomy of durmast oak [*Quercus petraea* (Fagaceae)] in response to environmental change. *Ann. Bot.* 81: 657-664.

Laborde, C. J. A., y C. O. Pozo. 1984. Presente y Pasado del Chile en México. Publicación especial No. 85. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). México. 80 p.

Leegod, R. 1993. Carbon dioxide concentrating mechanisms. In: Plant biochemistry and molecular biology (Lea, P. J. & R.C. Leegod, eds.). John Wiley & Sons, Ltd. Chichester.

Lindquist, S. 1980. Varying patterns of protein synthesis in *Drosophila* during heat shock: implications for regulation. *Developmental Biology* 77: 463–479.

Locascio, S. J., W. M. Stall. 1994. Bell pepper yield as influenced by plant spacing and row arrangement. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119: 899-902.

Long, Solís J. 1982. presente y pasado del chile en México. S.A.R.H. – I.N.I.A. México, D. F. pp. 8, 18, 48, 49.

Long, S. J. 1998. *Capsicum* y cultura: La historia del chile. Fondo de Cultura Económica. México. pp. 204.

Long, S. P., S. Humphries, and P. G. Falkowski. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 45: 633–662.

Maio, De A. 1999. Proteínas de choque térmico: hechos, pensamientos y sueños. Shock. Augusta, Ga. 11 (1): 1-12. [PMID 9921710](#).

Maití, R. 1986. Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. Marín N. L. México. pp. 419.

Mazliak. 1976. Fisiología vegetal, nutrición y metabolismo. Editorial Omega s. a. Barcelona. Pp. 120-123.

Merquiol, E., L. Pnueli, M. Cohen, M. Simovitch, S. Rachmilevitch, P. Goloubinoff, A. Kaplan, and R. Mittler. 2002. Seasonal and diurnal variations in gene expression in the desert legume *Retama raetam*. *Plant, Cell & Environment* 25: 1627–1638.

Motsenbocker, C. E. 1996. In-row plant spacing affects growth and yield of pepperoncini pepper. *J. Hort. Sci.* 31 (2): 198-200.

Mohr, H. and P. Schopfer. 1995. Plant physiology. Springer – Verlag, Berlin. Heidelberg, New York. 659 p.

Muñoz, F. I. y C. B. Pinto. 1970. Taxonomía y distribución geográfica de los chiles cultivados en México. *Revista el Campo*. No. 15. INIASAG. México. Pp 3- 12.

Nayeem, K. A.; and M.U. Veer. 1998. Gene effects for thermo tolerance parameters and some yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under normal and late sowing. *Crop Im.* 25:2-229-231.

Nilwik, H. J. M. 1981. Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) The influence of irradiance and temperature under glasshouse conditions in winter. *Annals of Botany*. 48:2: 129-136.

Nobel, P. S. 1991. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. Department of Biology, University of California, Los Angeles. Academic Press, INC. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, Los Angeles, California, USA. Pag. 373-411, 478-479.

Nuez, F.; Gil R., y Costa J. 2003. *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*. Mundi Prensa, Madrid, España.

Ohad, I., N. Adir, H. Koike, D. Kyle, and Y. Inoue. 1990. Mechanism of photoinhibition in vivo. A reversible light-induced conformational change of reaction center II is related to an irreversible modification of the D1 protein. *Journal of Biological Chemistry* 265: 1972–1979.

Ortiz, J. N., I. Nikolskii, O. Palacios y R. Acosta. 1999. Pérdidas de agua de riego por percolación profunda durante el proceso de infiltración. *Terra*. 17: 115 - 124.

Ortiz, S., C. A. 1987. *Elementos de agroclimatología cuantitativa*. 3ª. Ed. UACH. Texcoco México.

Parsell, D. A., and S. Lindquist. 1994. Heat shock proteins and stress tolerance. *In* R. Morimoto, A. Tissieres, and C. Georgopoulos [eds.], *The biology of heat shock proteins and molecular chaperones*, 457–494. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, New York, USA.

Pickersgill, B. 1969. The domestication of chili peppers. *In*: P. J. Ucko y G. W. Dimbley (Eds.). *The domestication and exploration of plants and animals*. Duckworth. London. UK. pp. 443-450.

Pickersgill, B. 1984. Migrations of chili peppers, *Capsicum spp.* in the Americas *In*: Stone D. (Ed). *Papers of Peabody Museum of Archeology*. Vol. 76. Harvard University Press. pp. 105-123.

Pio, A.; C. Horst, H. Martínez, C. Martínez and P. Mosquim. 2001. Características fisiológicas de porta-enxertos de videira em solução salina. *Sci. Agric.* 58(1): 139-143.

Piña, J.M. 1994. El cultivo del chícharo (*Pisum sativum* L.): Su respuesta bajo condiciones de acolchado de suelos y azufre elemental. Tesis de profesional. División de Ciencias Biológicas, ICCAC. Saltillo, Coah.

Pollard, D.G. 1955. Feeding habits of the cotton whitefly, *Bemisia tabaci* Genn. (*Homoptera: Aleyrodidae*). *Ann. Appl. Biol.* 43: 664-667.

Poysa, V. W. Garton R. Courtney W. H., Metcalf J. G. Muehmer J. 1986. Genotype-environment interactions in processing tomatoes in Ontario. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111(2): 293-297.

Pozo, C. O. 1981. Descripción de tipos y cultivares de chile (*Capsicum spp.*) en México. Folleto técnico num. 77. INIA-SARH. Pp 40.

Pozo, C. O., H. S. Montes, y J. E. Redondo.1991. El chile (*Capsicum spp.*) en: Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. México. pp. 217-238.

Prince, J. P., E. Pochard, and S. D. Tanksley. 1992. Construction of a molecular linkage map of pepper and a comparison of synteny with tomato. Genome 36:404-417.

Quail, P. H., M.T Boylan, B.M. Parks, T.W. Short, Y. Xu, D. Wagner,. 1995. Phytocromes: Photosensory perception and signal transduction, Science. 268: 675-680.

Rajapakse, N. C., R.E.Young, M.J. Mc.Mahon, R. Oi. 1999. Plant height control by photoselective filters: current status and future prospects, Hortechonology. 9: 618-624.

Ramírez, M. M. 1989. Clasificación de Genotipos de Chile Serrano (*Capsicum annuum* L.) Según la Resistencia y Susceptibilidad a Temperaturas Altas, Tesis Maestría, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Rey, R. J. 2006. Los nombres científicos. Departamento de Entomología y Nematología. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida, Gainesville, FL 32611. ENY-731S (IN665). <<http://edis.ifas.ufl.edu>>.

Ristic, Z.; U. Bukovnik; P.V. Vara and M. West. 2008. A Model for Prediction of Heat Stability of Photosynthetic Membranes. *Crop Sci.*; 48: 1513-1522

Robertson, G. W. 1983. Weather-based mathematical models for estimating development and ripening of crops. Technical Note No. 180. WMO No. 620. Geneva, Switzerland. 99 p.

Rodríguez, O., J.L., V.A. González H. y J. Ortiz C. 1996. Taller demostración fisiología-fisiotecnia. Taller de fisiología vegetal. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Colegio de posgraduados. s/p.

Rodríguez, Z. C. 1986. Fotosíntesis, transpiración, eficiencia en el uso de agua, análisis de crecimiento de 4 variedades de frijol (*phaseolus vulgaris*). Tesis doctor en cs. Colegio de posgraduados. Chapingo. México. Pp1-20.

Ruiz, T. E. 1995. Agrometeorología. Editorial Trillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. Pp. 117.

Russildi, G. M. C. 1981. Diferentes vías fotosintéticas de las plantas y sus aplicaciones en la alimentación de los herbívoros. Facultad de Agronomía. U.A.N.L, Nuevo León, México.

Rusell, M. P.; W. W. Wilhelm; R. A. Olson and J. F. Power. 1984. Growth analysis based on degree days. *Crop Sci.* 24: 28-32.

Salisbury, F. B. C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Primera edición. Virgilio González V. (Traductor). Grupo editorial Iberoamericano, S. A. de C. V. México. 759 p.

Sandoval, R. A. 2001. Apuntes del Curso, Aplicación de Productos Vía Riego en Cultivos Hortícolas. Depto. de Hort. UAAAN. Saltillo, Coahuila. México.

Schroda, M., O. Vallon, F.-A. Wollman, and C. F. Beck. 1999. A chloroplast- targeted Heat shock protein 70 (HSP70) contributes to the photoprotection and repair of photosystem II during and after photoinhibition. *Plant Cell* 11: 1165–1178.

Schuster, G., D. Even, K. Kloppstech, and I. Ohad. 1988. Evidence for protection by heat-shock proteins against photoinhibition during heatshock. *EMBO Journal* 7: 1–6.

Serrano, C. Z. 1978. Tomate, pimiento y berenjena en invernadero. Colección agrícola practica No. 27. Publicaciones extensión agraria. Madrid España. pp 161-174.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera SIEAP, SIACON, Anuario Agrícola por Municipio SAGARPA. 2004. Consulta de Indicadores de Producción Nacional y Márgenes de Comercialización de Chile. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.

Servicio Meteorológico Nacional. 2000. Comisión nacional del agua. Normales climatológicas de Marín 1971-2000. [http:// smn2.cna.gob.mx](http://smn2.cna.gob.mx)

Sestak, Z., J. Catsky and P. G. Jarvis. 1971. Plant photosynthesis production manual of methods. W. Junk, N. V. publishers, La Haya. Pp. 818.

Shen, Z. Y. and P. H. Li. 1982. Heat adaptability of the tomato. J. Amer. Hort. Sci. 17:6:924-925.

Silvertown, J, Gordon G. M. 1989. A framework for plant behavior. Annual Review of Ecology and Systematics. 20: 349-366.

Sivori, E.; M. Montaldi, Edagardo R. 1980. Fisiología vegetal. Editorial Hemisferio sur. Pp 346-354.

Shannon, M. 1985. Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. *Plant and Soil* 89: 227-241.

Stapel, D., E. Kruse, and K. Kloppstech. 1993. The protective effect of heat shock proteins against photoinhibition under heat shock in barley (*Hordeum vulgare*). *Journal of Photochemistry and Photobiology B* 21: 211–218.

Statistic Analysis System. 1999. SAS/STAT User`s guide, Institute Inc, version 8.0. Cary, N. C., USA.

Stoffella, P. J; H. H. Bryan. 1988. Plant population influences growth and yield of bell pepper. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113 (6): 835-839.

Stoffella, P. J.; Locascio S. J.; Howe T. K.; Olson S. M.; Shuler K. D.; Vavrina Ch. S. 1995. Yield and fruit size stability differs among bell pepper cultivars. *J. Amer. Hort. Sci.* 120(2): 325-328.

Sullivan, V. Y. and W. M. Ross. 1979. Selecting for drought and heat resistance in grain sorghum. In: Mussel, H. and R. C. Staples (eds.). *Stress physiology in crop plants*. John Wiley and Sons Inc. New York. P. 263-281.

Tijerina, L. 1999. Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Terra*. 17:237 - 245.

Thomasson, J.R. 1997. Leaf epidermal features - Stomata apparatus.

Velasco, F. 1971. Recolección y descripción de muestras del G. Capsicum en la provincia de Satipo (Junin) y San Miguel (Cajamarca). UNA

Vierling, E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42: 579–620.

Villee, C. A. 1974. Biología. In. Respiración: intercambio de gases. Trad. Vicente Agut Armer. Editorial Interamericana. Sexta edición. 821 p.

Walker, G.P. 1985. Stylet penetration by the bayberry whitefly, as affected by leaf age in lemon, Citrus lemon. *Entomol. Exp. Appl.* 39: 115-121.

Wang, W., B. Vinocur, O. Shoseyov, and A. Altman. 2004. Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. *Trends in Plant Science* 9: 244–252.

Wattsagro, 1999. El cultivo de chile poblano (*Capsicum annum* L.) Consulta de la página de internet: <http://www.wattsagro.com>

Watson, D. J. 1952. The physiological basic of variation in yield. *Adv agrono.* 4:101-145.

Wilkinson, H. 1979. The plant surface (mainly leaf) In: *Anatomy of dicotyledons* (Metcalf, C.R. & L. Chalk, eds.). Second edition. Vol. 1. Oxford Clarendon Press. London.

William, J. M.; D.P. Stimart. 2004. Stomatal density in *Antirrhinum majus* L.: inheritance and trends with development. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 40:55-1252-1258.

Wilsie, C. P. 1966. Cultivos: aclimatación y distribución. Tr. Dr. Manuel Serrano. Ed. Acribia, Zaragoza, España. 29-340.

Winterman, J.F.G., De Mots, A. 1965. Absorption spectra of chlorophyll a and b in organic solvents. *Biochim. Biophys. Acta* 109: 448-453

Wu, C. 1995. Heat shock factores de transcripción: estructura y regulación. Examen anual de Biología Celular y del Desarrollo 11: 441-69. Doi: [10.1146/annurev.cb.11.110195.002301](https://doi.org/10.1146/annurev.cb.11.110195.002301). PMID 8689565.

7. APÉNDICE

7.1 Altura de planta final

Apéndice 1A. Análisis de varianza para la variable altura de planta final (APF).

Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

FV	GI	CM
Genotipo	3	875.43**
Ambiente	2	275.86**
Gen * Amb	6	80.82*
Error	24	22.80
C. V., %		8.82

Nivel de significancia p (<0.05 y 0.01). ^{NS} = No Significativo estadísticamente. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

7.2 Densidad estomática del Haz

Apéndice 2A. Análisis de varianza para la variable densidad estomática del haz

(DEH). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

FV	GI	CM
Genotipo	3	6459.92**
Temperatura	2	5731.50*
Gen * Temp	6	1321.89 ^{NS}
Error	24	1361.27
C. V., %		33.78

Nivel de significancia p (<0.05 y 0.01). ^{NS} = No Significativo estadísticamente. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

7.3 Densidad estomática del envés

Apéndice 3A. Análisis de varianza para la variable densidad estomática del envés (DEE). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

FV	Gl	CM
Genotipo	3	8612.80 ^{NS}
Temperatura	2	58556.45 ^{**}
Gen * Tem	6	6860.38 ^{NS}
Error	24	6157.67
C. V., %		19.78

Nivel de significancia p (<0.05 y 0.01). ^{NS} = No Significativo estadísticamente. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

7.4 Densidad estomática total

Apéndice 4A. Análisis de varianza para la variable densidad estomática total (DET). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

FV	Gl	CM
Genotipo	3	25096.2 ^{NS}
Temperatura	2	100047.6 ^{**}
Gen * Tem	6	10543.3 ^{NS}
Error	24	10591.1
C. V., %		20.34

Nivel de significancia p (<0.05 y 0.01). ^{NS} = No Significativo estadísticamente. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

7.5 Clorofila a

Apéndice 5A. Análisis de varianza para la variable clorofila a (CLRa). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

	FV	GL	CM
Gen		3	21.45**
Temp		2	21.54**
Gen*Temp		6	5.80 ^{NS}
Error		24	2.50
CV			20.5

Nivel de significancia p (<0.05 y 0.01). ^{NS} = No Significativo estadísticamente. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

7.6 Clorofila b

Apéndice 6A. Análisis de varianza para la variable clorofila b (CLRb). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

	FV	GL	CM
Gen		3	5.10*
Temp		2	6.66**
Gen*Temp		6	1.98 ^{NS}
Error		24	1.15
CV			22.7

Nivel de significancia p (<0.05 y 0.01). ^{NS} = No Significativo estadísticamente. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

7.7 Conductancia

Apéndice 7A. Análisis de varianza para la variable conductancia estomática (COND). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

FV	Gl	CM
Genotipo	3	0.117**
Ambiente	2	0.127**
Gen * Amb	6	0.058*
Error	24	0.022
C. V., %		34.74

Nivel de significancia p (<0.05 y 0.01). ^{NS} = No Significativo estadísticamente. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

7.8 Fotosíntesis

Apéndice 8A. Análisis de varianza para la variable fotosíntesis (FOT). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

FV	Gl	CM
Genotipo	3	57.44**
Temperatura	2	12.03 ^{NS}
Gen * Temp	6	40.46 ^{NS}
Error	24	16.35
C. V., %		12.53

Nivel de significancia p (<0.05 y 0.01). ^{NS} = No Significativo estadísticamente. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

7.9 Resistencia

Apéndice 9A. Análisis de varianza para la variable resistencia estomática (RES).
Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

FV	Gl	CM
Genotipo	3	1.25 ^{NS}
Ambiente	2	11.22 ^{**}
Gen * Amb	6	1.11 ^{NS}
Error	24	1.74
C. V., %		38.13

Nivel de significancia p (<0.05 y 0.01). ^{NS} = No Significativo estadísticamente. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

7.10 Transpiración

Apéndice 10A. Análisis de varianza para la variable transpiración (TRANS).
Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

FV	Gl	CM
Genotipo	3	8.43 ^{NS}
Ambiente	2	31.60 [*]
Gen * Amb	6	3.41 ^{NS}
Error	24	9.30
C. V., %		30.58

Nivel de significancia p (<0.05 y 0.01). ^{NS} = No Significativo estadísticamente. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

7.11 Estabilidad de la membrana celular

Apéndice 11A. Análisis de varianza para la variable estabilidad de la membrana celular (DAÑO). Respuesta fisiológica en plantas de chile bajo efecto de tres temperaturas nocturna.

FV	GI	CM
Gen	3	1807.28**
Temp	2	533.22*
Gen*Temp	6	1349.74**
Error	24	147.09
C.V., %		31.9

Nivel de significancia p (<0.05 y 0.01). ^{NS} = No Significativo estadísticamente. * Diferencia Significativa.

** Diferencia Altamente Significativa.

Medias de las variables

Altura de planta

Apéndice 12A. Media para altura 1 de planta a los 20 días después del transplante

<u>a) Temperatura Alta</u>				<u>b) Temperatura Ambiente</u>				<u>c) Temperatura Baja</u>			
Rep	Tipo	Clave	Altura	Rep	Tipo	Clave	Altura	Rep	Tipo	Clave	Altura
1	Ancho	A 5	26	1	Ancho	A 7	22	1	Ancho	A 24	22
2	Ancho	A 28	27	2	Ancho	A 4	27	2	Ancho	A 12	22
3	Ancho	A 10	29	3	Ancho	A 9	24	3	Ancho	A 1	21
1	Anaheim	AH 15	20	1	Anaheim	AH 14	21	1	Anaheim	AH 25	20
2	Anaheim	AH 11	12	2	Anaheim	AH 17	23	2	Anaheim	AH 5	18
3	Anaheim	AH 10	21	3	Anaheim	AH 7	20	3	Anaheim	AH 12	16
1	Jalapeño	J 19	18	1	Jalapeño	J 11	19	1	Jalapeño	J 15	15
2	Jalapeño	J 14	20	2	Jalapeño	J 29	19	2	Jalapeño	J 24	20
3	Jalapeño	J 17	21	3	Jalapeño	J 18	21	3	Jalapeño	J 3	13
1	Serrano	S 29	22	1	Serrano	S 16	25	1	Serrano	S 33	16
2	Serrano	S 28	18	2	Serrano	S 18	23	2	Serrano	S 34	14
3	Serrano	S 23	16	3	Serrano	S 13	21	3	Serrano	S 40	20

Apéndice 13A. Media para altura 2 de planta a los 40 días después del transplante

<u>a) Temperatura Alta</u>				<u>b) Temperatura Ambiente</u>				<u>c) Temperatura Baja</u>			
Rep	Tipo	Clave	Altura	Rep	Tipo	Clave	Altura	Rep	Tipo	Clave	Altura
1	Ancho	A 5	61	1	Ancho	A 7	45	1	Ancho	A 24	39
2	Ancho	A 28	54	2	Ancho	A 4	53	2	Ancho	A 12	44
3	Ancho	A 10	61	3	Ancho	A 9	51	3	Ancho	A 1	52
1	Anaheim	AH 15	35	1	Anaheim	AH 14	43	1	Anaheim	AH 25	37
2	Anaheim	AH 11	34	2	Anaheim	AH 17	41	2	Anaheim	AH 5	36
3	Anaheim	AH 10	43	3	Anaheim	AH 7	43	3	Anaheim	AH 12	47
1	Jalapeño	J 19	37	1	Jalapeño	J 11	35	1	Jalapeño	J 17	31
2	Jalapeño	J 14	39	2	Jalapeño	J 29	32	2	Jalapeño	J 24	35
3	Jalapeño	J 17	32	3	Jalapeño	J 18	28	3	Jalapeño	J 26	24
1	Serrano	S 29	66	1	Serrano	S 16	52	1	Serrano	S 33	38
2	Serrano	S 28	54	2	Serrano	S 18	53	2	Serrano	S 34	55
3	Serrano	S 23	59	3	Serrano	S 13	46	3	Serrano	S 40	49

Tipos de chile. A= ancho. AH= Anaheim. J= jalapeño. S= serrano.

Apéndice 14A. Media para altura 3 de planta a los 68 días después del transplante.

<u>a) Temperatura Alta</u>				<u>b) Temperatura Ambiente</u>				<u>c) Temperatura Baja</u>			
Rep	Tipo	Clave	Altura	Rep	Tipo	Clave	Altura	Rep	Tipo	Clave	Altura
1	Ancho	A 5	72	1	Ancho	A 7	60	1	Ancho	A 31	53
2	Ancho	A 28	66	2	Ancho	A 4	68	2	Ancho	A 12	55
3	Ancho	A 10	74	3	Ancho	A 9	68	3	Ancho	A 1	63
1	Anaheim	AH 15	46	1	Anaheim	AH 14	54	1	Anaheim	AH 25	48
2	Anaheim	AH 11	48	2	Anaheim	AH 17	49	2	Anaheim	AH 5	47
3	Anaheim	AH 10	52	3	Anaheim	AH 7	48	3	Anaheim	AH 12	57
1	Jalapeño	J 19	46	1	Jalapeño	J 11	43	1	Jalapeño	J 17	38
2	Jalapeño	J 14	42	2	Jalapeño	J 29	36	2	Jalapeño	J 24	44
3	Jalapeño	J 17	50	3	Jalapeño	J 6	43	3	Jalapeño	J 3	40
1	Serrano	S 29	72	1	Serrano	S 19	56	1	Serrano	S 33	49
2	Serrano	S 28	66	2	Serrano	S 18	67	2	Serrano	S 39	57
3	Serrano	S 23	72	3	Serrano	S 13	60	3	Serrano	S 40	40

Fotosíntesis

Apéndice 15A. Medias para Fotosíntesis de los tipos de chile, bajo efecto de temperatura alta

Rep	Tipo	Clave exp.	Fotosíntesis	Conductancia	Ci	Transpiración	PAR
1	Ancho	A10	29	0.198	124	0.41	1815
2	Ancho	A28	30.6	0.295	173	7.89	1860
3	Ancho	A5	31.6	0.276	153	7.92	1906
1	Anaheim	AH10	30.6	0.286	163	6.66	1777
2	Anaheim	AH15	28.1	0.204	122	5.56	1882
3	Anaheim	AH1	35.1	0.453	206	8.02	1918
1	Jalapeño	J14	31.1	0.269	170	6.69	1867
2	Jalapeño	J4	24.4	0.229	52.5	4.65	1827
3	Jalapeño	J7	32.2	0.456	221	8.12	1810
1	Serrano	S29	33.8	0.429	205	8.49	1908
2	Serrano	S23	34.4	0.402	198	8.42	1825
3	Serrano	S28	32.3	0.282	146	7.45	1898

Apéndice 16A. Media para Fotosíntesis de los tipos de chile, bajo efecto de temperatura ambiente

Rep	Tipo	Clave exp.	Fotosíntesis	Conductancia	Ci	Transpiración	PAR
1	Ancho	A7	36.3	0.564	227	8.09	1887
2	Ancho	A4	39.2	0.559	255	8.48	1879
3	Ancho	A9	34.7	0.524	223	8.58	1894
1	Anaheim	AH17	32.6	0.339	179	7.68	1905
2	Anaheim	AH14	38.2	0.677	235	9.85	1873
3	Anaheim	AH7	34.9	0.75	255	9.5	1926
1	Jalapeño	J29	36.6	0.46	210	9.12	1755
2	Jalapeño	J25	30.2	0.42	190	7.02	1618
3	Jalapeño	J11	34.8	0.676	243	9.95	1908
1	Serrano	S16	23.7	0.159	116	93.32	1849
2	Serrano	S18	29.5	0.28	159	5.96	1876
3	Serrano	S13	22.8	0.0723	-168	2.57	1857

Tipos de chile. A= ancho. AH= Anaheim. J= jalapeño. S= serrano.

Apéndice 17A. Media para Fotosíntesis de los tipos de chile, bajo efecto de temperatura baja

Rep	Tipo	Clave exp.	Fotosíntesis	Conductancia	Ci	Transpiración	PAR
1	Ancho	A12	36.4	0.442	211	7.52	1878
2	Ancho	A21	39.2	0.987	258	9.18	1870
3	Ancho	A1	37.5	0.547	215	8.45	1841
1	Anaheim	AH12	36.7	0.624	234	8.77	1902
2	Anaheim	AH18	35.2	0.679	250	8.42	1850
3	Anaheim	AH5	32.6	0.296	160	6.82	1899
1	Jalapeño	J21	35.8	0.665	248	8.82	1852
2	Jalapeño	J3	34.8	0.77	259	8.82	1915
3	Jalapeño	J24	16.9	0.48	-182	1.79	1879
1	Serrano	S1	32.5	0.259	134	6.06	1901
2	Serrano	S8	27.5	209	156	7.14	1859
3	Serrano	S3	29.4	0.23	140	6.03	1860

Tipos de chile. A= ancho. AH= Anaheim. J= jalapeño. S= serrano.

Transpiración

Apéndice 18A. Medias para transpiración de los tipos chile, bajo efecto de temperaturas nocturnas

Rep.	Tipos	<u>Temperatura Alta</u>				<u>Temperatura ambiente</u>				<u>Temperatura Baja</u>			
		Clave	Resist	Trans.	Quan	Clave	Resist	Trans	Quan	Clave	Resist	Trans	Quan
1	Ancho	J14	3.6	10.68	1850	J29	2.18	11.44	1480	J9	1.41	18.91	1820
2	Ancho	J4	5.66	7.21	1845	J11	1.95	12.37	1575	J21	1.96	13.67	1610
3	Ancho	J17	2.72	12.84	949.2	J25	5.00	5.11	1615	J24	6.22	4.56	1900
1	Anaheim	AH10	3.84	9.48	1870	AH14	2.01	11.66	1640	A1	2.20	12.49	1870
2	Anaheim	AH1	4.74	7.95	1865	AH7	2.25	10.79	1645	A21	1.97	13.81	1870
3	Anaheim	AH19	5.61	6.49	1860	AH17	3.74	7.64	1375	A12	2.80	10.49	1855
1	Jalapeño	A5	3.90	9.42	1875	A7	3.05	8.76	1710	AH12	2.17	12.75	1820
2	Jalapeño	A28	4.91	7.56	1880	A4	2.05	12.47	1655	AH5	2.40	11.67	1870
3	Jalapeño	A10	6.07	6.34	1890	A4	1.96	12.98	1745	AH18	2.26	12.34	1840
1	Serrano	S23	3.69	9.66	1870	S18	2.43	10.91	1730	S8	2.57	11.20	1905
2	Serrano	S29	4.47	8.05	1875	S13	4.59	6.46	1800	S3	4.55	6.97	1725
3	Serrano	S28	5.52	6.64	1860	S16	5.92	5.46	1697	S1	2.32	11.89	2015

Clorofila

Apéndice 19A. Medias para clorofila de los tipos chile, bajo efecto de alta temperaturas nocturnas

Rep	Tipo	Clave	665	649	645	Clorofila a (mg. L ⁻¹)	Clorofila b (mg. L ⁻¹)
1	Ancho	A 6	0.904	0.411	0.354	10.01744	2.2628
2	Ancho	A 28	0.688	0.653	0.498	5.66432	7.6196
3	Ancho	A 25	0.892	0.558	0.482	9.00632	5.6564
1	Anaheim	AH 10	0.333	0.234	0.212	3.21426	2.9388
2	Anaheim	AH 26	0.936	0.581	0.494	9.47664	5.6316
3	Anaheim	AH 1	0.708	0.449	0.38	7.11336	4.4232
1	Jalapeño	J 16	0.51	0.336	0.295	5.05164	3.735
2	Jalapeño	J 17	0.327	0.23	0.204	3.1551	2.778
3	Jalapeño	J 21	0.467	0.319	0.282	4.56046	3.7264
1	Serrano	S 21	0.709	0.446	0.372	7.14434	4.2092
2	Serrano	S 24	0.816	0.51	0.429	8.2416	4.8666
3	Serrano	S 30	0.712	0.448	0.386	7.17392	4.5476

Apéndice 20A. Medias para clorofila de los tipos chile, bajo efecto de temperatura ambiente nocturna

Rep	Tipo	Clave	665	649	645	Clorofila a (mg. L ⁻¹)	Clorofila b (mg. L ⁻¹)
1	Ancho	A 4	0.764	0.4	0.388	8.1628	4.204
2	Ancho	A 7	0.7	0.419	0.352	7.17656	3.7616
3	Ancho	A 9	0.596	0.459	0.305	5.52136	3.3394
1	Anaheim	AH 14	0.65	0.398	0.337	6.61252	3.7546
2	Anaheim	AH 17	0.672	0.409	0.349	6.85056	3.897
3	Anaheim	AH 7	0.628	0.385	0.333	6.386	3.8186
1	Jalapeño	J 11	0.613	0.394	0.333	6.12866	3.9326
2	Jalapeño	J 00	0.647	0.386	0.343	6.64054	3.9322
3	Jalapeño	J 25	0.61	0.384	0.337	6.14516	4.0586
1	Serrano	S 20	1.054	0.643	0.555	10.73612	6.3086
2	Serrano	S 18	0.788	0.491	0.474	7.96744	6.2404
3	Serrano	S 13	0.918	0.562	0.423	9.33948	3.9366

Apéndice 21A. Medias para clorofila de los tipos chile, bajo efecto de baja temperatura nocturna

Rep	Tipo	Clave	665	649	645	Clorofila a (mg. L ⁻¹)	Clorofila b (mg. L ⁻¹)
1	Ancho	A 30	1.072	0.669	0.579	10.83296	6.791
2	Ancho	A 31	1.466	0.904	0.762	14.87716	8.518
3	Ancho	A 29	1.135	0.701	0.592	11.51174	6.6476
1	Anaheim	AH 5	0.772	0.48	0.423	7.8116	5.0462
2	Anaheim	AH 27	0.638	0.418	0.363	6.33292	4.5166
3	Anaheim	AH 2	0.607	0.379	0.34	6.13286	4.1588
1	Jalapeño	J 17	0.758	0.461	0.398	7.72924	4.5076
2	Jalapeño	J 26	0.874	0.528	0.432	8.93252	4.5032
3	Jalapeño	J 27	0.703	0.447	0.38	7.05638	4.4612
1	Serrano	S 41	1.145	0.703	0.602	11.63722	6.8296
2	Serrano	S 33	0.982	0.622	0.536	9.87068	6.3656
3	Serrano	S 40	0.794	0.495	0.424	8.0266	4.9048

Densidad estomática

Apéndice 22A. Media para densidad estomática de los tipos de chile, bajo efecto de temperaturas nocturnas.

Temperatura Alta					Temperatura Ambiente					Temperatura Baja				
Rep.	Tipo	Clave	Haz mm ²	Envés mm ²	Rep.	Tipo	Clave	Haz mm ²	Envés mm ²	Rep.	Tipo	Clave	Haz mm ²	Envés mm ²
1	Ancho	A 10	102.04	455.78	1	Ancho	A 4	81.63	394.55	1	Ancho	A 1	88.43	224.49
2	Ancho	A 28	122.44	387.75	2	Ancho	A 7	136.05	380.95	2	Ancho	A 12	81.63	326.53
3	Ancho	A 5	176.87	551.02	3	Ancho	A 9	108.84	380.95	3	Ancho	A 21	108.84	380.95
1	Anaheim	AH 1	170.06	510.2	1	Anaheim	AH 7	142.85	428.57	1	Anaheim	AH 18	95.24	414.96
2	Anaheim	AH 10	197.27	503.4	2	Anaheim	AH 14	81.63	374.15	2	Anaheim	AH 12	244.9	537.41
3	Anaheim	AH 15	190.47	510.2	3	Anaheim	AH 17	81.63	306.12	3	Anaheim	AH 5	102.04	340.13
1	Jalapeño	J4	95.23	462.58	1	Jalapeño	J 29	68.02	244.9	1	Jalapeño	J 24	88.43	312.92
2	Jalapeño	J14	122.44	564.62	2	Jalapeño	J11	61.22	217.69	2	Jalapeño	J 21	108.84	367.35
3	Jalapeño	J17	74.82	374.14	3	Jalapeño	J25	88.43	278.91	3	Jalapeño	J 22	170.07	435.37
1	Serrano	S23	136.05	571.43	1	Serrano	S13	61.22	401.36	1	Serrano	S 31	40.82	537.41
2	Serrano	S28	88.43	462.58	2	Serrano	S16	40.81	251.7	2	Serrano	S 33	115.65	374.15
3	Serrano	S29	88.43	312.92	3	Serrano	S18	88.43	353.74	3	Serrano	S 38	81.63	346.94

Estabilidad de la membrana celular

Apéndice 23A. Media para estabilidad de la membrana celular en los tipos de chile, en respuesta a temperaturas nocturnas

<u>TA</u>		<u>TAm</u>		<u>TB</u>	
Clave	% daño	Clave	% daño	Clave	% daño
A25	3.57142857	A23	48.1946625	A21	-6.4301552
A10	12.755102	A19	53.8461538	A12	18.1818182
A5	12.0300752	A9	21.0628019	A1	33.5416667
AH 26	63.6363636	AH14	2.56410256	AH 18	30.3703704
AH10	57.5757576	AH7	5	AH 12	34.3167702
AH 1	38.6759582	AH4	2.80504909	AH5	45
J17	40.3278689	J25	46.4285714	J24	64.516129
J16	51.1111111	J11	49.2063492	J12	55.3921569
J4	41.3919414	J00	53.2085561	J2	77.2321429
S28	18.8013136	S20	34.0517241	S34	46.6666667
S24	28.4090909	S19	59.2857143	S3	82.9166667
S23	17.6470588	S17	64.2857143	S1	61.6477273

(%) Porcentaje de daño = es el daño sufrido de la membrana celular analizado por la prueba de estabilidad de la membrana celular. TA = temperatura alta; TAm = temperatura ambiente; TB = temperatura baja. An = ancho; Ah = anaheim; Ja = jalapeño; Se = serrano.