

Efecto del abastecimiento hídrico en ambiente protegido sobre el rendimiento y variables morfo-fisiológicas de chile (*Capsicum annuum*) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en Heredia, Costa Rica

Estudiante:

Fabián Jara Víquez

Trabajo final de graduación de tesis sometida a consideración del tribunal examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica.

Trabajo final de Graduación presentado como requisito parcial para optar al grado de
Licenciado en Ingeniería Agronómica.

Miembros del Tribunal Examinador:

M. Sc. Tomás Marino Herrera

Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

Dr. Rafael Evelio Granados Carvajal

Director de la Escuela
de Ciencias Agrarias

Lic. Juan Félix Arguello Delgado

Tutor de tesis

Dr. Roberto Cordero Solórzano

Lector de Tesis

M. Sc. José Eladio Monge Pérez

Lector de Tesis

Ing. Fabián Jara Víquez

Postulante

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS**

Efecto del abastecimiento hídrico en ambiente protegido sobre el rendimiento y variables morfofisiológicas de chile (*Capsicum annuum* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en Heredia, Costa Rica

Modalidad tesis de grado para optar por licenciatura en Ingeniería Agronómica.

Estudiante:

Fabián Jara Víquez

Tutor:

Lic. Juan Félix Arguello Delgado

Asesores:

Dr. Roberto Cordero Solórzano

M. Sc. José Eladio Monge Pérez

Campus Omar Dengo

Heredia, Costa Rica, 2018

RESUMEN

Dentro de un contexto actual, donde la escasez del agua es una inevitable realidad en todas las partes del mundo, el estudio de alternativas modernas que afronten la creciente demanda de alimentos se ha convertido en una necesidad. Esta investigación viene a evaluar el efecto de la disminución en el suministro hídrico (30% del drenaje y 10% de drenaje), en el cultivo de chile dulce (*Capsicum annuum* L.), y pepino (*Cucumis sativus* L.) durante la época de invierno en una producción en ambiente protegido. El trabajo consistió de dos experimentos, A y B, siendo el cultivo de chile dulce y pepino, respectivamente, cada experimento; para ambos experimentos se utilizó un diseño completamente aleatorio, con dos tratamientos y once repeticiones, bajo un sistema de ambiente protegido, equipado con un sistema de fertirriego programable y una estación meteorológica. Esto con el fin de conocer el comportamiento de estas plantas de importancia agronómica, en las variables: altura de la planta, diámetro del tallo, días a primera cosecha, rendimiento comercial, peso promedio del fruto, número de frutos por planta, clasificación comercial, contenido de sólidos solubles, tasa fotosintética, conductancia estomática, transpiración EUA y fluorescencia. Los resultados se orientan a una adaptación morfofisiológica, que permitió a las plantas alcanzar los mismos rendimientos productivos con una disminución de la calidad comercial, unido a un aumento del contenido de sólidos solubles en las plantas de menor suministro hídrico. Los beneficios obtenidos en términos económicos, ambientales y otros, fueron más provechosos para el cultivo de pepino, su capacidad adaptativa ante la sequía fue superior al chile dulce. Su gran capacidad productiva bajo esta modalidad permitió una mejor utilización de los recursos escasos.

ABSTRACT

In a current context, where water scarcity is an inevitable reality in all parts of the world, the study of modern alternatives that face the growing demand for food has become a necessity. This investigation evaluates the effect of the decrease in the water supply (30% of the drainage and 10% of drainage), in the cultivation of sweet Chile (*Capsicum annuum* L.), and cucumber (*Cucumis sativus* L.) during the rainy season under a protected environment. The work consisted of the same experiment applied to the culture of these two species arranged in a completely random design for the two treatments and eleven repetitions, under a protected environment system, equipped with a programmable fertilization system and a weather station. Our goal was to know the behavior of these plants of agronomic importance, in the variables: height of the plant, diameter of the stem, days to first harvest, commercial yield, average weight of the fruit, number of fruits per plant, commercial classification, content of soluble solids, photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration and fluorescence. The results indicate the plants were able to adjust their morphophysiological adaptability, which allowed the plants to reach the same productive yields with a decrease in commercial quality, together with an increase in the content of soluble solids in plants with lower water supply. The benefits obtained in economic, environmental and technical practices were more profitable for the cultivation of cucumber, which showed a greater adaptive capacity when subjected to incipient drought than the smaller adjustments presented by the sweet pepper. Its great productive capacity under this modality allowed a better use of scarce resources.

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

1. 'light harvesting complexes' o 'antenas' del fotosistema I y II (LHCII)
2. Ácido abscísico (ABA)
3. Adenosín trifosfato (ATP)
4. Agua (H₂O)
5. Aldehído malónico (MDA)
6. Anión cloro (Cl.)
7. Ascorbato peroxidasa (APX)
8. Catalasa (CAT)
9. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
10. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA)
11. Centro Regional de Estudios del Agua (CREA)
12. Conductancia estomática (g)
13. Contenido Relativo de Agua (CRA)
14. DeciSiemens por metro (dS/m)
15. Dehidroascorbato reductasa (DHAR)
16. Días después del trasplante (ddt)
17. Dióxido de carbono (CO₂)
18. Eficiencia en el Uso del Agua (EUA)
19. Escuela de ciencias Agrarias (ECA)
20. Especie reactiva de oxígeno (ERO)
21. Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM)
22. Evapotranspiración (ET_o)
23. Feofitina (Pheo)
24. Finca Experimental Santa Lucía (FESL)
25. Food and Agriculture Organization (FAO)
26. Fotosistema II (PSII)
27. Fructuosa 1,6 bifosfato (FBPase)
28. Fundación de Desarrollo Agropecuario (FDA)
29. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA)

30. Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal (FUMIAF)
31. Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES)
32. Glutación reductasa (GR)
33. Grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$)
34. Grados Centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
35. Infrared gas analyzers, por sus siglas del inglés (IRGA)
36. Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM)
37. Instituto Meteorológico Nacional (IMN)
38. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP),
39. Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)
40. Ión potasio(K^+)
41. KiloPascal (KPa)
42. La ribulosa-1,5-bifosfato (RuBP)
43. Late embryogenesis abundant, por sus siglas del inglés (LEA)
44. Nivel de acidez (pH)
45. Manejo Integrado de Plagas (MIP)
46. Megapascal (MPa)
47. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
48. Partes por millón (ppm)
49. Photosynthetic Photon Flux Density, por sus siglas del inglés (PPFD)
50. Piruvato ortofosfato diquinasa (PDK)
51. Potencial hídrico en suelo o folio (ψ_s , ψ_f)
52. Probabilidad sin desviación ($p=sd$)
53. Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos (ProNAP)
54. Quinona A (Qa)
55. Radiación fotosintéticamente activa (RFA)
56. Ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (RuBisCO)
57. Rijk Zwaan (RZ)
58. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)

59. Sólidos solubles totales (SST)
60. Superóxido dismutasa (SOD)
61. Tasa de asimilación máxima ($A_{máx}$)
62. Transpiración (E)
63. Tratamiento (trt)
64. Universidad de Costa Rica (UCR)
65. Universidad Estatal a Distancia (UNED)
66. Universidad Nacional de Costa Rica (UNA)
67. Virus “Etch” del Tabaco (TEV)
68. Virus de las Venas Amarillas (CVYV)
69. Virus del Mosaico del Tabaco (VMT)
70. Virus del Mosaico el Pepino (CMV)
71. Virus Y de la papa (VYP)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que hicieron posible este trabajo y valoro infinitamente cada segundo entregado de vida en cada detalle que me hicieron forjarme en un mejor estudiante y un mejor hombre, y que sin ayuda de ustedes no hubiera sido posible llegar donde estoy.

Estoy en un compromiso eterno por seguir alimentando los sueños de todos los que me ayudaron hacer esta realidad.

Agradezco al amor, la comprensión y la paz que me permiten seguir adelante cada día.

TABLA DE CONTENIDO

Acta de aprobación.....	3
Resumen.....	5
Abstract.....	7
Lista de acrónimos y abreviaturas	8
Agradecimientos	11
INTRODUCCIÓN.....	20
OBJETIVOS.....	21
General.....	21
Específicos	21
MARCO TEÓRICO.....	22
Ambientes protegidos	22
Contexto mundial.....	22
Contexto costarricense.....	23
Aspectos sobre el recurso hídrico	24
Descripción de la zona de estudio.....	26
Generalidades de los cultivos	27
Chile dulce (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	27
Descripción	28
Condiciones ambientales requeridas.....	28
Prácticas de manejo	31
Contexto del cultivo.....	32
Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.).....	33
Condiciones ambientales requeridas.....	34
Temperatura.....	34
Etapas fenológicas y de desarrollo.....	34
Contexto del cultivo.....	36
Sustrato utilizado	38
Mediciones.....	39

Mediciones ecofisiológicas.....	39
Mediciones morfológicas.....	41
Diámetro del tallo	41
Altura de la planta.....	42
Rendimiento y Calidad	42
Mediciones Fisiológicas	46
Contenido de sólidos solubles.....	46
Sistema de medición de intercambio gaseoso (IRGA)	48
Conductancia estomática (g).....	50
Transpiración (E)	51
Eficiencia en el uso del agua (EUA).....	53
Fluorescencia (Fv/Fm).....	54
METODOLOGÍA.....	57
Localización.....	57
Área del experimento.....	57
Tratamientos	58
Periodo	59
Material biológico.....	59
Manejo	59
DISEÑO EXPERIMENTAL	62
VARIABLES EVALUADAS.....	63
Morfológicas	63
Rendimiento y calidad	63
Fisiológicas	64
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	65
RESULTADOS	66
<i>Capsicum annuum</i> L.	66
Variables morfológicas	66

Diámetro del tallo	66
Variables de rendimiento y calidad	68
Días a primera cosecha	68
Variables fisiológicas.....	72
<i>Cucumis sativus</i> L.....	74
Variables morfológicas	74
Variables de rendimiento y calidad	77
Variables fisiológicas.....	80
DISCUSIÓN.....	84
<i>Capsicum annuum</i> L.	84
Variables morfológicas	84
Diámetro del tallo	84
Altura de la planta.....	84
Variables de rendimiento y calidad	86
Días a primera cosecha	86
Rendimiento por metro cuadrado	86
Peso promedio del fruto.....	88
Número de frutos por planta	88
Clasificación comercial.....	89
Variables fisiológicas.....	91
Contenido de sólidos solubles.....	91
Tasa fotosintética	91
Conductancia estomática	94
Transpiración	96
Eficiencia en el Uso del Agua.....	97
Fluorescencia	98
<i>Cucumis sativus</i> L.....	99
Variables morfológicas	99

Diámetro del tallo	99
Altura de la planta.....	100
Variables de rendimiento y calidad	100
Rendimiento por área.....	100
Número de frutos por planta	101
Peso promedio del fruto.....	102
Clasificación comercial.....	103
Variables fisiológicas.....	104
Contenido de sólidos solubles.....	104
Tasa fotosintética	105
Conductancia estomática	107
Transpiración	108
Eficiencia en el uso del agua.....	110
Fluorescencia	111
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	114
ANEXOS	138

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Diagrama de las dimensiones de la parcela útil establecida en el invernadero en Santa Lucía. Las áreas descritas abarcan los sacos hidropónicos y el espacio entre calles, para cada experimento que consta de 22 sacos hidropónicos.....58
- Figura 2.** Sistema utilizado en cada tratamiento para la determinación del drenaje.....59
- Figura 3.** Promedios (\pm DE) de diámetro de tallos de plantas de chile dulce en dos tratamientos y en tres mediciones, durante el desarrollo del cultivo. Medias de los tratamientos según momento de medición con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p<0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).....67
- Figura 12.** Diámetro promedio (\pm DE) de tallos de plantas de Chile dulce según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p<0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).....67
- Figura 5.** Altura promedio (\pm DE) de plantas de Chile dulce en metros según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p<0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).....68
- Figura 6.** Promedio (\pm DE) de variable de días a primera cosecha de plantas de Chile dulce según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p<0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).....68
- Figura 7.** Rendimiento productivo (\pm DE) por área en kilogramos por metro cuadrado de las plantas de chile dulce según tratamiento. FESL (Prueba de t, $p<0,05$) (De agosto 2015 a enero 2016).....69
- Figura 8.** Medias (\pm DE) de frutos por planta, peso de frutos y grados brix, en el cultivo de chile dulce según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p<0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).....70
- Figura 9.** Distribución (\pm DE) del número de frutos según clasificación de la calidad comercial y tratamiento para el cultivo de chile dulce en la FESL (De agosto 2015 a enero 2016).....71
- Figura 10.** Promedio (\pm DE) de $A_{m\acute{a}x}$ expresada en $\mu\text{moles CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, gs en mol $\text{H}_2\text{O}\text{m}^2\text{s}^{-1}$, E en mm $\text{H}_2\text{O}\text{m}^2\text{s}^{-1}$ y EUA en el cultivo de chile dulce según tratamiento (1 y 2) y etapa fenológica vegetativa (Veg) y Reproductiva (Rep). Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p<0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).....73
- Figura 11.** Media (\pm DE) de la fluorescencia en el cultivo de chile dulce, según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p<0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).....74

- Figura 12.** Promedios (\pm DE) de diámetro de tallos de plantas de pepino en dos tratamientos y en tres mediciones en el tiempo durante de desarrollo del cultivo. Medias de los tratamientos según momento de medición con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).....75
- Figura 13.** Diámetro promedio (\pm DE) de tallos de pepino según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de T, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).....76
- Figura 14.** Altura promedio (\pm DE) de plantas de pepino en metros según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de T, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a diciembre 2015).....76
- Figura 18.** Promedio (\pm DE) de $A_{\text{máx}}$ expresada en $\mu\text{moles CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, g_s en $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, E en $\text{mm H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y EUA en el cultivo de pepino según tratamiento (1 y 2) y etapa fenológica vegetativa (Veg) y Reproductiva (Rep). Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).....82
- Figura 19.** Promedio (\pm DE) de la fluorescencia en el cultivo de pepino, según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).....83

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Distribución de ambientes protegidos en el país, según cada provincia. Fuente: (Solórzano e ITCR, 2013).....	138
Anexo 2. Caracterización general de la infraestructura productiva nacional y del equipo en ambientes productivos, según la proporción de productores que atiende cada punto.....	138
Anexo 3. Análisis proximal del fruto de chile dulce por cada 100g de producto.....	139
Anexo 5. Fases fenológicas del cultivo de pepino.....	141
Anexo 6. Análisis nutricional en 100g de pepino.....	142
Anexo 7. Temperatura óptima requerida según etapa fenológica, para el cultivo del pepino.....	143
Anexo 8. Rangos de humedad adecuados para el desarrollo del cultivo de pepino.....	143
Anexo 9. Principales países productores de pepino para el año 2012.....	144
Anexo 10. Propiedades físicas y químicas de la fibra de coco.....	144
Anexo 11. Compatibilidad entre los fertilizantes más utilizados en fertirrigación. C=Compatible, X=Compatible en su momento de empleo, I=Incompatible (CREA, 2015).....	145
Anexo 12. Plan de fertilización basado en los principios de extracción de nutrimentos en las diferentes fases fenológicas.....	146
Anexo 13. Promedios (\pm DE) del drenaje obtenido de las plantas de chile dulce en dos tratamientos durante el desarrollo del cultivo. Medias de los tratamientos según momento de medición con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).....	146
Anexo 14. Consumo de agua requerido en el cultivo de chile dulce tratamiento 1. (Regresión lineal, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).....	147
Anexo 15. Consumo de agua requerido en el cultivo de chile dulce tratamiento 2. (Regresión lineal, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).....	148
Anexo 16. Promedios (\pm DE) del drenaje obtenido de las plantas de pepino en dos tratamientos durante el desarrollo del cultivo. Medias de los tratamientos según momento de medición con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de T, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).....	149
Anexo 19. Principales plagas de insectos que afectan el cultivo de chile dulce con sus umbrales distribuidos según la fenología de la planta (CATIE, 1993).....	153
Anexo 20. Principales patógenos que afectan el cultivo de chile dulce con sus umbrales distribuidos según la fenología de la planta (CATIE, 1993).....	154

Anexo 21. Estación meteorológica HOBO U30 instalada dentro del ambiente protegido de la UNA en la FESL.....	155
Anexo 22. Registro meteorológico diurno de la RFA expresado en micromoles (μmol por metro cuadrado por segundo), temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura promedio en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%) de la estación HOBO U30 dentro del ambiente protegido, para el periodo 15 de agosto a 16 enero.....	155
Anexo 23. Resumen de las condiciones meteorológicas registradas en la estación meteorológica HOBO U30 dentro del ambiente protegido presentes a lo largo del periodo 15 agosto a 16 de enero 2016.....	159
Anexo 24. Sistemas IRGA del tipo abierto para la medición de inter cambio gaseoso. LI-6400 (Li-Cor, Nebraska, EE. UU.).....	159
Anexo 25. Resumen del análisis estadístico para el cultivo de chile dulce. * = existieron diferencias significativas.....	160
Anexo 26. Resumen del análisis estadístico para el cultivo de pepino. * = existieron diferencias significativas.....	161
Anexo 27. Hoja de control de temporalizador.....	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

Para llegar hasta las mesas de cada habitante sobre el planeta, la agricultura moderna enfrenta grandes desafíos para satisfacer las demandas alimentarias. Uno de estos factores es el cambio climático que dentro de sus consecuencias viene a disminuir los rendimientos de los cultivos y propicia a un manejo intensivo, que se traduce en un incremento de costos para la producción. Una alternativa actual para proteger los cultivos hasta la cosecha, ha sido el establecimiento de ambientes protegidos (Rojas y Castillo, 2007).

En Costa Rica la producción agrícola bajo ambientes protegidos se inició a finales de los años 1980, principalmente dirigida a plantas ornamentales y flores (Monge-Pérez, 2016). En los últimos años se han desarrollado proyectos de producción de hortalizas en ambientes protegidos (Marín, 2010).

Un aspecto clave en todo proyecto de producción hortícola es la selección del genotipo adecuado, el cual debe tener características sobresalientes, tales como alto rendimiento, resistencia a enfermedades, buena calidad del fruto, adaptabilidad a condiciones ambientales locales y larga vida de anaquel. La calidad final está definida por sus características físicas (color, firmeza, tamaño, forma), químicas (contenido de sólidos solubles, pH, acidez titulable, relación azúcares/ácidos) y su calidad nutricional (contenido de vitaminas y minerales) (Monge-Pérez, 2014).

Existe una expectativa de desarrollar una actividad de exportación de tomate y chile dulce, dirigida a Estados Unidos. Sin embargo, un requisito imprescindible para lograr este propósito es que la producción debe hacerse bajo ambientes protegidos, debido a que necesariamente se debe certificar que el producto está libre de la mosca de las frutas. Además, los tipos de chiles y tomates para exportación son diferentes a los que se utilizan para el mercado local, por lo que es necesario utilizar nuevos genotipos que en general no han sido utilizados antes en el país, por lo tanto, se desconoce su comportamiento bajo condiciones tropicales (MAG, 2006; López, 2008).

El rendimiento que se obtiene de chile dulce bajo ambiente protegido en Costa Rica (de 94 a 201T/ha) fue mucho mayor que el que obtuvo Honduras (52-54T/ha) y República Dominicana (50-56T/ha) en condiciones similares, lo que permite observar que en Costa Rica existe potencial para este tipo de proyectos productivos (Monge, 2010; Monge, 2011; Santos *et al.*, 2011).

Este proyecto pretende aportar conocimientos en manejo del chile y el pepino bajo dos condiciones de abastecimiento de agua, utilizando un sistema programable de fertirrigación, en ambientes protegidos de forma eficiente y amigable con el ambiente.

OBJETIVOS

GENERAL

Comparar dos niveles de abastecimiento hídrico sobre el rendimiento y variables morfofisiológicas del chile (*Capsicum annuum* L.) y el pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivados en un ambiente protegido y bajo un sistema automatizado de fertilización durante la época lluviosa en Heredia, Costa Rica.

ESPECÍFICOS

Determinar el impacto en el rendimiento productivo del chile dulce y el pepino cultivados bajo dos abastecimientos hídricos.

Relacionar la respuesta morfo-fisiológica durante el desarrollo de las plantas de chile dulce y pepino con el rendimiento en presencia de dos abastecimientos hídricos.

MARCO TEÓRICO

AMBIENTES PROTEGIDOS

El ambiente protegido se define como las estructuras o construcciones cerradas con materiales transparentes a la radiación solar y dentro de los cuales se mantiene un microclima artificial. (MAG, 2003). Además, permite aumentar al máximo la capacidad de producción de un cultivo, optimizando el ambiente, el manejo de la planta, el riego, la nutrición y la sanidad desde la germinación hasta la cosecha.

Miembros de dicha comisión, Méndez y Marín (2015), citando a Tesi (2001), establecen que la agricultura protegida es definida como una forma única y especializada de agricultura, que, mediante el uso de infraestructura, permite algún grado de control sobre los factores ambientales y la nutrición mineral

CONTEXTO MUNDIAL

La horticultura a nivel mundial es un sector económicamente importante, según datos estimados por la FAO a nivel mundial se cultivan anualmente 52 millones de hectáreas, con China, India, Turquía, Italia, Egipto, España, Brasil, México y Rusia entre los diez principales países productores de hortalizas frescas y procesadas. Del total de esta superficie, aproximadamente el 22% (12 millones de hectáreas) está relacionado con agricultura protegida, y de éstas, el 10% (1,2 millones de hectáreas) lo constituyen estructuras permanentes o invernaderos, siendo los cultivos que más se producen el tomate y el chile (FAO, 2008).

Respecto a los beneficios de los ambientes protegidos, es muy importante identificar algunos factores a considerar. En un estudio de Vela (2010), sobre el análisis químico, físico y nutricional del cultivo de tomate riñón, en Ecuador, encontró grandes diferencias en frutos, cultivados a campo abierto y bajo invernadero, donde el valor nutricional aumentó bajo invernadero. De igual forma, la zona de cultivo influyó en los resultados, ya que la zona de Tungurahua (Ecuador), reportó bajos rendimientos indiferentemente de la

tecnología utilizada, lo que vincula la importancia de la investigación sobre este tipo de sistemas productivos.

En general la FAO, (2007), mencionan algunas ventajas de los ambientes protegidos respecto al cultivo convencional, como la intensificación de la producción, la posibilidad de cultivar todo el año y consecuente con contratos de trabajo constantes, la obtención de cosechas fuera de temporada, la obtención de productos en regiones con condiciones restrictivas, el incremento de los rendimientos por unidad de superficie, el menor riesgo de pérdida, el uso más eficiente de agua e insumos, así como una mejor calidad postcosecha que mejora su comercialización. Así mismo, algunos obstáculos que citan son la alta inversión inicial, desconocimiento de las estructuras óptimas para cada región, alto nivel de especialización y necesidades de capacitación del personal, y los altos costos de producción.

CONTEXTO COSTARRICENSE

En Costa Rica, la producción agrícola bajo ambientes protegidos se inició a finales de los 1980, principalmente dirigida a la producción de plantas ornamentales y flores (Monge-Pérez, 2016). En los últimos años se han desarrollado pequeños proyectos de producción de hortalizas en ambientes protegidos, incluso unos pocos con fines de exportación.

Las mayores extensiones protegidas son ocupadas por las plantas ornamentales (67%) seguidas por la producción de hortalizas con casi 28%. Los almácigos ocupan 1,55% del área protegida declarada, lo que equivale apenas a 8,7 ha. El restante se vincula a almácigos para actividades forestales.

En datos del año 2009, se señala que el 82% de los productores e inversionistas, cuentan con terrenos propios para el desarrollo de su actividad de agricultura protegida, esto genera una ventaja respecto a los que ocupan inversión financiera para obtener la tierra (Marín, 2010).

Alajuela y Cartago son las provincias con mayor cantidad de agricultura protegida, cubriendo en conjunto el 80% de la superficie utilizada con ese fin. Guanacaste fue la provincia con menos áreas protegidas, con apenas 1% de la superficie relativa. Es importante resaltar que Guanacaste y la parte centro-norte de Puntarenas cuentan con suficientes horas luz y terrenos con topografía adecuados para generar proyectos de impacto potencial. Así mismo, el sur de Puntarenas (Brunca) y Limón, pese a sus condiciones de poca luminosidad general, poseen la ventaja de cercanía con puertos y megaproyectos; estos presentan cualidades específicas para ciertos productos. De alguna forma se ven los efectos de las grandes variaciones agroclimáticas y topográficas del país (Marín, 2010), (Anexo 1.).

Otro dato relevante es el tamaño promedio de las actividades productivas, este ronda 1,01 ha. Heredia presentó el valor más elevado (2,67 ha por unidad), seguida por Cartago, Limón y Alajuela (1,77, 1,25 y, 1,17 ha por explotación, respectivamente). El menor valor lo presentó Guanacaste con una media de 0,13 ha, lo cual coincide con una baja frecuencia de actividades y experiencias (Marín, 2010).

Solórzano, (2013), describen el nivel de tecnología presente a nivel nacional, esta información se presenta en el Anexo 2.

ASPECTOS SOBRE EL RECURSO HÍDRICO

La escasez del agua es un tema ampliamente discutido en todo el mundo, debido a que en los últimos años el recurso se ha agotado a ritmos acelerados y se estima que para el 2050, 67 países se verán severamente afectados por la escasez de agua (Hernández, 2014).

Las plantas durante su desarrollo están sometidas a condiciones ambientales no “óptimas” para su supervivencia, o a factores externos que ejercen efectos desventajosos sobre las plantas, estos factores inducen cambios en el metabolismo, los cuales pueden ser reversibles o permanentes. Esta situación es considerada como “estrés” (Taiz y Zeiger, 2010).

El estrés abiótico se refiere a las condiciones no óptimas para la planta dadas por limitantes en el entorno físico donde se desarrolla, como es la disponibilidad de agua, exceso de sales, deficiencia de nutrientes o presencia de heladas, entre otros (Azcón-Bieto y Talón, 2003; Salisbury, 1992; Benavides *et al.*, 2002; Sánchez, Reigosa y Pedrol, 2003). El estrés abiótico más común es el déficit hídrico (Levitt, 1980; Mundree *et al.*, 2002). El estrés hídrico es sumamente importante ya que la planta usa mucha agua y su consumo es mayormente para la transpiración y su uso puede variar por el sombreado, el tipo de sustrato, la solución nutriente aplicada y la etapa de la planta (Steduto, Hsiao, Fereres, y Raes, 2012).

La finalidad de someter a las plantas a un menor suministro hídrico es inducir la señalización química (compuestos inhibidores o reducción del flujo de compuestos promotores) desde las raíces para reducir parcialmente el vigor en el crecimiento del vástago e inhibir parcialmente la apertura estomática y de esta manera disminuir la pérdida de agua (Davies y Zhang, 1991; Hamlyn, 2013; Rojas, Posadas, Quiroz, Holle, y Malaga 2007; López-Ordaz *et al.*, 2011).

Dentro de las soluciones planteadas cuando el agua de riego podría convertirse en una limitación cada vez más para la agricultura, se sugiere enfatizar los genes de tolerancia a la sequía observables en plantas denominadas halófitas. Como consecuencia de mutaciones favorecidas por la selección natural, especies como *Prosopis juliflora*, se han fijado para la extracción de genes relevantes e introducción en plantas cultivadas (Swaminathan y Kesavan, 2012).

Dentro de las estrategias o mecanismos de respuesta a la sequía en las plantas se identifican tres tipos de respuesta genética: escape, evitación y tolerancia. Escape es la capacidad de la planta de completar su ciclo de vida antes que las condiciones de suelo presenten un déficit de agua, lo que implica un rápido desarrollo fenológico de la planta, plasticidad durante el período de desarrollo y removilización de asimilados, pero trae como consecuencia una reducción en los rendimientos, con respecto a las plantas de ciclo normal (Agbicodo, Fatokun, Muranaka, Visser, y Linden Van Der, 2009).

Evitación, corresponde a la capacidad de las plantas de mantener las hojas turgentes, a pesar de la escasez de agua en el suelo, lo cual, se explica por una mayor profundidad de las raíces o un sistema de raíces eficiente en la absorción del agua, cierre de estomas, disminución de la absorción de la radiación o evapotranspiración por cierre de las hojas y reducida área foliar; ello repercute en una disminución en la asimilación de carbono, debido a la reducción de la transferencia física de moléculas de dióxido de carbono y el aumento de la temperatura foliar que favorece la reducción de los procesos bioquímicos y por consiguiente, los rendimientos (Mitra, 2001).

La tolerancia a la sequía es definida como la capacidad de las plantas de vivir, de crecer y de obtener rendimientos satisfactorios bajo condiciones limitadas de agua en el suelo o en un período de menor suministro hídrico (Ashley, 1993) y los mecanismos que usan las plantas para hacer frente a la sequía, se agrupan en tres categorías, de acuerdo con Mitra (2001): escape, evitación y tolerancia; no obstante, las plantas pueden usar más de un mecanismo a la vez, para enfrentar la sequía.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para el área de estudio de Barva de Heredia, Chinchilla (1987) describe las siguientes características ambientales:

Precipitación: el promedio anual varía entre los 2000 a 2500mm en las partes bajas del cantón y entre los 2500 a 3000mm en sus partes más altas. En los meses de agosto, septiembre y octubre se estima una precipitación de 1021,9mm, lo que representa el 44% del total anual. En diciembre, enero, febrero, marzo, abril (el período seco), la lluvia contribuye con 252,9mm aproximadamente, lo que significa el 10% del total anual.

Viento: Durante el período seco el viento dominante es el alisio, con dirección Noreste-Suroeste, en el período lluvioso el alisio predomina en las mañanas y en la tarde se presentan los vientos del Oeste y del Suroeste provenientes del Pacífico.

Temperatura: promedio mensual presenta poca variación de un mes a otro. Hay una oscilación entre la temperatura promedio máxima y mínima aproximadamente de 7,5°C durante los meses de mayor precipitación, y de aproximadamente de 9,0°C en el período

seco. La máxima promedio es de 24,8°C, la mínima promedio anual es de 15,2°C, y el promedio general es de 19,2°C. La temperatura media anual en el cantón oscila entre los 19,0 y 20,0°C en las partes bajas, y entre 15,0 y 18,0°C en sus partes más altas y montañosas.

Brillo solar: teóricamente va desde 11,5 hasta 12,5 horas diarias. Sin embargo, la nubosidad reduce hasta 4,5 horas diarias en promedio desde junio a noviembre las horas de brillo solar. En los meses que van desde diciembre hasta abril, el promedio de sol directo es de 7,7 a 8,0 horas diarias. Los meses más soleados son: enero, febrero y marzo, con aproximadamente 9,0 horas de sol por día. Los más nublados son junio y julio, que registran en promedio 4,1 horas de sol por día.

Humedad relativa: durante el mes más seco alcanza un promedio diario de 69% (marzo), y sube a 83% durante los meses más lluviosos (agosto a noviembre). La humedad relativa varía muy poco durante el año y oscila entre el 72 y 80% en las partes bajas, y entre 80 y 90% en las partes más altas y montañosas.

Según Herrera (1985), el clima del cantón de Barva se clasifica como “Clima Húmedo Caliente, con déficit moderado de agua”.

GENERALIDADES DE LOS CULTIVOS

Chile dulce (*Capsicum annuum* L.)

El pimiento, es una planta perenne cultivada como anual, originaria de Mesamérica, propiamente México y Guatemala (Pickersgill, 1971), encontrándose en forma silvestre desde el Sur de los Estados Unidos, hasta el Norte de Chile (Filgueira, 2003).

Durante los siglos XV y XVI fue llevada a Europa, África y Asia por los colonizadores españoles y portugueses. Actualmente *Capsicum annuum* L. se cultiva en la mayoría de los países tropicales y subtropicales del mundo, el cultivo es por transplante, utilizando tanto como plantas de porte bajo sin tutores, como plantas de porte alto con tutores (CATIE, 1993).

Descripción

El híbrido conocido como Nathalie, presenta un fruto alargado triangular, de color verde o rojo, con 10-16 cm de largo y 6-8 cm de ancho, el crecimiento es indeterminado, el ciclo dura entre los 90-100 días, presentan cierta tolerancia a los virus VYP, VMT, TEV, además presenta tolerancia a enfermedades como *Phytophthora* sp., y un rendimiento por ha de 22-28 toneladas, con un peso promedio de fruto 170g (Syngenta, 2016).

Es una planta de follaje denso, crecimiento determinado, su altura oscila de 0,30 a 1,5m. El sistema radicular es pivotante, con abundantes raíces laterales, el tallo es semileñoso, las ramas son erguidas con hojas alternas y lanceoladas, las flores son pentámeras y aparecen en la axila de la hoja y se cuenta una flor por nudo, pendiente o erguida, su color en blanco con cinco pétalos soldados y cinco sépalos soldados entre sí (Serrano, 1974).

Se le cultiva para el aprovechamiento de sus frutos, el color es verde y se torna rojo al madurar, su sabor es dulce, para su consumo se utiliza en estado verde o maduro, entero o molido, se puede utilizar en varias formas: picado, fresco en salsa, guisado con carne, pero tiene mayor popularidad en el país para consumo fresco enlatado y en curtidos. El análisis proximal del contenido nutricional de una muestra de fruto de chile dulce es descrito en el Anexo 3., la descripción de las etapas fenológicas y de desarrollo de este cultivo son detallados en el Anexo 4.

Condiciones ambientales requeridas

El chile dulce necesita de ciertos factores de crecimiento para su desarrollo normal y el manejo de plagas debe hacerse en concordancia con tales factores. Los niveles de luz, agua, temperatura y nutrimentos, afectan el crecimiento del cultivo e interaccionan con las plagas que lo atacan. Los cultivos bajo menor suministro hídrico pueden ser más vulnerables al ataque de plagas y mostrar sintomatologías que fácilmente pueden confundirse con los daños de éstas (CATIE, 1993).

Temperatura

El chile dulce se puede cultivar en zonas donde la temperatura media anual está en el rango de 13 a 24 °C. Dentro de este ámbito, las temperaturas altas aumentan la tasa de crecimiento del cultivo y las bajas lo reducen. Las temperaturas que el chile necesita son mayores durante la germinación que durante el desarrollo vegetativo y la floración. La mayor fructificación se logra dentro de los ámbitos de 18 a 27 °C durante el día y 12 a 16°C durante la noche. Se considera que las temperaturas altas (30°C) son las más dañinas al chile dulce, porque provocan el aborto (caída) de botones florales y flores; sin embargo, las bajas temperaturas durante la noche pueden compensar parcialmente las altas temperaturas del día (Jiménez *et al.*, 2007).

Humedad

Con relación a las necesidades de agua la planta de chile, al igual que la mayoría de los vegetales, absorbe el agua que necesita por las raíces junto con los nutrientes minerales disueltos. En condiciones normales de temperatura, la planta se desarrolla bien a una humedad relativa del aire entre el 50% y 70%. La humedad relativa más elevada, si bien es beneficiosa para el desarrollo de la planta, tiene el inconveniente de favorecer el desarrollo de enfermedades fungosas que obligan a la realización de los tratamientos fitosanitarios correspondientes (Jiménez *et al.*, 2007).

La falta de humedad se asocia con la enfermedad fisiológica del fruto conocida como “pudrición apical negra”; el mayor porcentaje de frutos afectados se presenta cuando el déficit de agua ocurre después del período de máxima floración.

El cultivo de chile dulce requiere de baja humedad relativa, sin embargo, bajas humedades relativas junto con temperaturas altas producen transpiración excesiva ocasionando la caída de las flores debido a déficit hídrico en la planta; humedades arriba del 90% causan exceso de desarrollo vegetativo. La alta humedad relativa produce mayor crecimiento de la planta y aumento de los entrenudos. Arriba de 35°C de temperatura, el

desarrollo normal del fruto del chile es perjudicado, especialmente si la humedad relativa del aire baja por el efecto de vientos secos (Montes, 1993).

Luminosidad

El chile dulce es una planta muy exigente en luz sobre todo en la época de la floración. En estado de plántula, el chile dulce es un cultivo relativamente tolerante a la sombra, en el semillero, la aplicación hasta un 55% de sombra aumenta el tamaño de las plantas, lo que en el manejo favorece la producción de mayor número de frutos de tamaño grande. La sombra tenue en el campo puede ser benéfica para el cultivo, por reducir el estrés de agua y disminuir el efecto de la quema de frutos por el sol; sin embargo, el exceso de sombra reduce la tasa de crecimiento del cultivo y también puede provocar el aborto de flores y frutos (Jiménez *et al.*, 2007).

pH

El pH óptimo para el cultivo de chile dulce es de 5,5 a 7,0. Durante la etapa de semillero el cultivo es sensible a la salinidad del suelo, pero a medida que se desarrolla se vuelve tolerante a ésta (Jiménez *et al.*, 2007).

Altitud

El chile dulce se adapta a altitudes de 0 a 3000 msnm de acuerdo al cultivar sembrado. Alturas mayores y climas secos destruyen las flores impidiendo de esta manera la formación del fruto (Jiménez *et al.*, 2007).

Prácticas de manejo

Tutorado: Las labores de tutorado se realizan para proveer a la planta un soporte o punto de apoyo a medida que avanza en su crecimiento. Esto es especialmente importante en variedades o híbridos cuya altura supera los 1,2 m de altura, ya que la carga que producen es capaz de agobiar a la planta misma.

Poda: La poda es poco frecuente, se realiza cuando se presenta el tizón tardío en las hojas inferiores. La poda que ocasionalmente se realiza es la recepa, la cual se hace cuando la fructificación ha pasado y es necesario obtener nuevos rebrotes.

Amarre: Esta actividad se realiza con el objetivo de sostener el peso de la planta. Se puede utilizar alambre, pita plástica, piola u otro material. En los dos cables tutores, se sostienen dos hilos paralelo en forma de V unidos en un solo punto basal, con el fin de que entre mayor cantidad de luz y puede realizarse la fotosíntesis. Los puntos de sostén de las plantas dependerán de la altura de las mismas y varían de dos a cuatro. Se debe amarrar a los 22 a 35 días del trasplante (Orellana *et al.*, 2001).

En el mercado nacional de Costa Rica, se han establecido las siguientes categorías de calidad:

Especial: Sin deformaciones o daños, firme, con una longitud de más de 17cm.

Primera: se permiten frutos con deformaciones leves, sin daños, firme, con una longitud de más o igual a 14cm y menos de 17cm.

Segunda: frutos con deformaciones leves, sin daños, firme, con una longitud de más o igual a 10cm y menos de 14cm.

Tercera: frutos con deformaciones leves, sin daños, firme, con una longitud de más o igual a 6cm y menos de 10cm.

Rechazo: todos los frutos que no califiquen en otra categoría (Cerdas, 2014).

El fruto de chile dulce de primera calidad es todo aquel que supera los 119g, el de segunda calidad pesa entre 86–118g y el de tercera entre 51–85g (Jiménez *et al.*, 2007).

Contexto del cultivo

El pimiento se cultiva en invernadero en todo el mundo. En el Mediterráneo constituye uno de los cultivos principales que puede situarse inmediatamente después del tomate en la mayoría de los países, con la excepción de Túnez donde la paprika picante y el pimiento dulce representan un 55% de la superficie total de invernaderos (FAO, 2002).

El chile dulce se produce principalmente para venderlo fresco localmente; los mercados son limitados con pocas variaciones en la demanda las cuales se dan principalmente debido a factores estacionales, tales como fiestas tradicionales. La siembra es estacional y responde a las expectativas de precios por parte de los productores y de la disponibilidad de tierra y agua. El rendimiento depende del nivel tecnológico aplicado por los productores, las condiciones ambientales y plagas naturales. Se dan grandes fluctuaciones en el precio del producto debido a variaciones en la oferta y por ser un producto perecedero. Durante las épocas de sobreproducción, se dan casos en los que el productor prefiere no cosechar y dejar perder el producto.

Las plagas pueden ocasionar pérdidas sustanciales en la producción, reduciendo las ganancias. En Honduras, se han reportado pérdidas de hasta 50% del rendimiento, debidas al picudo del chile (*Anthonomus eugenii*). En Guatemala se han presentado de igual forma pérdidas del 50%, debidas a marchitez fungosa (*Phytophthora capsici*). En Costa Rica, se han reportado pérdidas de entre 35 y 50%, relacionadas con la mosca del chile (*Neosilba sp.*) y entre 20 y 50%, debidas a marchitez fungosa.

En la región centroamericana, el gasto en plaguicidas para el control de insectos y enfermedades en el cultivo de chile dulce representa entre el 47 y 50% del gasto total en la compra de insumos; este gasto, más el costo de su aplicación, representa entre el 34 y 47% de los costos totales directos de producción. Las grandes pérdidas debidas a las plagas justifican la inversión en su control; sin embargo, actualmente el control tal como lo ejecutan los productores resulta muy costoso y poco eficiente. El MIP ofrece un papel muy importante en mejorar el control de las plagas y simultáneamente, reducir sus costos; así se

aumentarán los ingresos del productor y, a la vez, se mejorará su capacidad para afrontar las fluctuaciones en los precios del mercado (CATIE, 1993).

Pepino (*Cucumis sativus* L.)

Origen

Asia y en particular la India es considerado el centro de origen del pepino, debido a la frecuente ocurrencia de especies silvestres de *Cucumis* con número cromosómico $n=7$, además de la existencia de vestigios del cultivo de hace 3000-4000 años, y aunque algunos autores señalan que el centro de origen es África tropical, la mayoría de los trabajos señalan un origen totalmente asiático (Křístková, Lebada, Vinter y Blahousek, 2003; Bisognin, 2002).

Los tipos más comunes de pepino son el americano, el europeo, el del este medio, el holandés y el pepino oriental (Wehner y Maynard, 2003). Las etapas fenológicas del cultivo de pepino son indicadas en el Anexo 5.

Descripción

El híbrido Modan RZ, pepino tipo francés presenta las siguientes características destacables: Variedad partenocárpica, vigorosa, recomendada para ciclos de otoño y de primavera. Resistencia intermedia al virus CVYV y al CMV. Frutos de color verde oscuro, cilíndricos, sin amargor y con espinas (Reche, 2011).

Esta variedad presenta una planta abierta, con un fruto por axila, y con un tamaño de aproximadamente 22cm de longitud. Presenta alta resistencia a *Cladosporium cucumerinum* (Ccu) y a *Podosphaera xanthii* (ex. *Sphaerotheca fuliginea*) (Zwaan, 2015). La descripción del contenido nutricional de este fruto puede apreciarse en el Anexo 6.

Condiciones ambientales requeridas

Temperatura

El pepino requiere altas temperaturas para su cultivo y una humedad no muy elevada, pues de lo contrario su desarrollo es anormal, no madurando bien los frutos y perdiendo calidad en aquellas zonas húmedas y con poca insolación (Anexo 7).

Humedad

El intervalo óptimo de humedad relativa puede situarse en 50-90% dependiendo de la temperatura. A continuación, se presentan las humedades relativas óptimas en las distintas fases de desarrollo (Anexo 8.).

Luminosidad

El pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas. A mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción. Una alta intensidad de luz estimula la fecundación de las flores, mientras que una baja intensidad de luz, la reduce (Zamudio y Félix, 2014).

pH

En cuanto a pH, el cultivo se adapta a un rango de 5,5-6,8, soportando incluso pH hasta de 7,5 (Zamudio y Félix, 2014).

Etapas fenológicas y de desarrollo

El cultivo de pepino presenta etapas bien definidas durante su desarrollo, las que permiten el manejo adecuado del cultivo y determinan el ciclo fisiológico de la planta

(Anexo 11) (FUSADES 1990). La propagación tipo sexual o por semilla es la más utilizada, ya que la asexual es muy difícil para este cultivo, y la sexual es relativamente fácil y barata (Madrigal, 2006).

Prácticas de manejo

Tutorado: El crecimiento de la planta de pepino en un tutor, ayuda a aprovechar mejor el terreno, facilita las labores de cultivo (aporca y aplicación de agroquímicos), aumenta la ventilación, facilita la cosecha y mejora la calidad del fruto en cuanto a sanidad y apariencia. El tutor para pepino consiste en un conjunto de postes cada 3 m, con dos líneas de alambre a 0,8 a 1,3m de altura, en los cuales se amarran las guías con pabito (MAG, 1991).

Poda: La forma de poda más comúnmente usada en pepino bajo condiciones de invernadero consiste en eliminar por abajo de los 40 a 50 cm del tallo principal todos los brotes que salgan, al igual que las hojas y los frutos que se vayan formando. A partir de los 40 a 50 cm, se eliminan todos los brotes laterales que aparecen en el tallo principal, dejando un fruto en cada axila, hasta que este alcance el alambre superior usado para el entutorado de la planta. Una vez que una o dos hojas se han desarrollado por arriba del alambre, el punto terminal del tallo principal es eliminado, dejando crecer libremente en el extremo superior de la planta dos brazos laterales, eliminando la yema terminal cuando la planta está cerca del suelo (Hochmuth, 2001).

Aclareo de hojas: Se suprimirán las hojas viejas, amarillas o enfermas. Cuando la humedad es demasiado alta será necesario tratar con pasta fungicida tras los cortes.

Aclareo de flores y frutos: Deben limpiarse de frutos las primeras 7-8 hojas (60-75 cm), de forma que la planta pueda desarrollar un sistema radicular fuerte antes de entrar en producción. Estos frutos bajos suelen ser de baja calidad, pues tocan el suelo, además de impedir el desarrollo normal de parte aérea y limita la producción de la parte superior de la planta. Los frutos curvados, malformados y abortados deben ser eliminados cuanto antes, al

igual que aquellos que aparecen agrupados en las axilas de las hojas de algunas variedades, dejando un solo fruto por axila, ya que esto facilita el llenado de los restantes, además de dar también mayor precocidad.

Cosecha: La recolección de pepinos destinada al consumo en fresco se realiza en forma manual gradualmente cada dos a cuatro días. Estudios realizados en el número de cosechas por semana han indicado que entre más espaciadas las recolecciones, la calidad del fruto para consumo humano es menor, además que la vida pos-cosecha es más reducida. La cosecha debe efectuarse con una herramienta desinfectada, con un centímetro de largo de pedúnculo.

El peso promedio del fruto oscila entre 225 y 337 gramos. En Costa Rica se clasifica el fruto de pepino en tres categorías:

Primera: frutos con una longitud de más de 20cm sin daños o curvaturas.

Segunda: frutos con una longitud de más o igual a 16cm y menos de 20cm, sin ningún tipo de daño.

Tercera: frutos con una longitud de más o igual a 12cm y menos de 16cm, sin ningún tipo de daño.

Rechazo: todos los frutos que no califiquen en otra categoría (Cerdas, 2015).

Contexto del cultivo

El pepino se mantiene como una de las hortalizas de mayor vigencia, dado que la producción se inicia en corto tiempo (40-45 días después de la siembra) y se prolonga por unas 5-6 semanas, obteniendo frutos de buena calidad.

El mayor porcentaje de la composición química del pepino es agua. Su mayor importancia está en sus cualidades organolépticas y a la presencia de peptasas (mayormente contenidas en la piel), que ayudan a mejorar la digestión y la absorción de los alimentos consumidos.

El jugo de pepino es un buen diurético. Promueve el crecimiento del cabello y evita su caída debido a su alto contenido de azufre y silicio, cuando se le mezcla con jugos de zanahoria, lechuga y espinaca. La combinación de jugo de pepino con el de zanahoria tiene un efecto benéfico sobre los padecimientos reumáticos, regulariza la presión, ayuda a eliminar las afecciones de las encías y las erupciones de la piel. Además, ayuda a combatir la colitis (FDA, 1992).

El pepino se destaca a nivel mundial como una de las principales hortalizas de alto consumo y de mayor importancia, ya que su producción es relativamente rápida, favoreciendo a países de clima templado quienes las pueden trabajar durante todo el año, lo cual significan un punto a favor respecto a países estacionales, quienes solamente las desarrollan en condiciones protegidas, convirtiéndose en un mercado atractivo de exportación (Reho, 2015).

A nivel nacional en la EEAFBM de la UCR, Cruz (2017) reporta una descripción de 15 genotipos de pepino bajo ambiente protegido, donde indica un total de 30ddt para la primera cosecha en la variedad Modan, un nivel de 3,09°Bx; un número total de frutos por planta de 31,6 frutos, así como su distribución en 11,41 frutos para primera calidad, 12,19 para segunda y 8 para tercera. Además registra un peso promedio total del fruto de 254,52g, con un rendimiento por área de 16,48kg/m².

Para el control de plagas y enfermedades en el pepino, es importante no utilizar productos clorinados ya que son tóxicos para esta planta; dentro de las plagas encontradas para esta especie se citan: *Diabrotica variegata* (Coleoptera: Chrysomelidae), *Diabrotica porracea* (Coleoptera: Chrysomelidae), *Acalymma* sp. (Coleoptera: Chrysomelidae), estos crisomélidos se consideran portadores de *Erwinia* y del virus CMV.

Además, hay otras plagas comunes reportadas en Costa Rica como *Diaphania nitidalis* (Lepidoptera: Pyralidae), *Leptoglossus zonatus* (Dallas) (Hemiptera: Coreidae), Áfidos; *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) y *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae).

Entre las enfermedades del cultivo se encuentran: antracnosis (*Colletotrichum* sp.), mildiú vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*) y bacteriosis del pepino (*Pseudomonas* sp.) (Madrigal, 2006).

El mayor rendimiento promedio en el año 2012 lo obtuvo los Países Bajos con 65.000kg/ha. El segundo lugar lo ocupaba Islandia con un rendimiento de 55.766kg/ha. El tercer lugar, con un rendimiento de 55.043kg/ha, lo obtuvo el Reino Unido; en un cuarto lugar, con un rendimiento de 20.100kg/ha, Bélgica; y por último Finlandia con 17.463kg/ha. En España se reportan rendimientos medios de pepino al aire libre de 25.000-30.000kg/ha, y en ambiente protegido de 75.000-85.000kg/ha (Chacón, 2015) (Ver Anexo 9).

Para el caso de la producción de pepino en invernadero en Costa Rica, Meneses (2013) realizó una valoración de sustratos obtenidos a partir de diferentes materias primas en el cultivo de pepino tipo “holandés” (híbrido Fuerte), en la EEAFBM; el cultivo presentó la primera cosecha entre los 42 y 55 ddt, y en cuanto a rendimiento total en las pruebas realizadas, el mejor tratamiento mostró un rendimiento de 5,99 kg/planta, lo que equivale a 15,57kg/m².

SUSTRATO UTILIZADO

Existen diversos tipos de sustratos utilizados para ambientes protegidos, dentro de los cuales se ha seleccionado la fibra de coco como el material idóneo para esta investigación. Este material se extrae del coco donde la proporción del peso total de la semilla de coco, consiste en 65% de la nuez, y el 35% restante corresponde a la parte fibrosa. Este sustrato tiene una capacidad de retención de agua de hasta 3 o 4 veces su peso, un pH ligeramente ácido (6,3-6,5) y densidad aparente de 200kg/m³. Su porosidad es bastante buena y debe ser lavada antes de su uso debido al alto contenido de sales que posee (Beltrano y Gimenez, 2015).

El valor principal de la cáscara de coco estriba precisamente en su contenido de fibra, que es una fuente valiosa de potasio y una cobertura muerta útil para la conservación de la humedad.

La fibra de coco se obtiene del mesocarpio fibroso del fruto. Estructuralmente es una de las fibras más duras, y en comparación con otras es más corta. El diámetro medio de las fibras es de aproximadamente 1mm. La gran utilidad de ésta radica en su capacidad para estirarse. Además, su flotabilidad y resistencia a la acción de las bacterias y al agua salina, que la hacen una fibra única. Se estima que el 10% de la producción anual de cáscaras de coco son utilizados para obtener fibra. Su producción en el año 1996 ascendió a 480.000t, aunque sólo el 20% de esta cantidad entró en el mercado internacional (Alvarado, Blanco y Taquechel, 2010).

La condición porosa existente favorece el vigor de las raíces. Es capaz de retener altos niveles de humedad sin llegar a saturarse, drenando los excesos y manteniendo una adecuada relación aire-agua. El sustrato de fibra de coco se puede utilizar en forma íntegra durante tres a cinco años, según el manejo, sin perder contenido ni características de longitud de fibras. En su calidad de material orgánico, puede ser reciclado como mejorador del suelo una vez que cumple su vida útil.

La industria aplica una serie de tecnologías de proceso para lograr un producto estabilizado. Se somete a selección, compostaje, trituración, cribado, lavado (eliminación de sales) y secado. Además, se controla la calidad en aspectos de granulometría, conductividad eléctrica y pH (Borquez, 2015).

MEDICIONES

Mediciones ecofisiológicas

En el estudio del desempeño de cultivos hortícolas en ambientes protegidos, es indispensable el registro de las condiciones microambientales dentro de los invernaderos. En la actualidad se utilizan equipos modernos que nos permiten llevar un registro continuo

de muchos parámetros ambientales tales como humedad relativa, temperatura y radiación total o RFA (radiación fotosintéticamente activa). Para cada uno de estas variables existen gran cantidad de sensores de diferentes calidades y precisión.

En justificación con lo anterior, Gamarra, Trebejo y Noriega (2010), citan que el primer factor que afecta la producción de un cultivo es la naturaleza genética representado por la semilla, seguida por el factor ambiente donde se desarrolla, incluyendo al clima y el manejo agronómico.

Además, desde el punto fotosintético, la RFA es de vital importancia, ya que es la radiación solar disponible para la fotosíntesis y representa aproximadamente el 48% de la radiación solar (Monteith y Unsworth, 1990). Se suele considerar como la radiación que se encuentra en la banda de 400-720nm (Sellers *et al.*, 1997) que prácticamente coincide con el espectro visible. Esta importante magnitud se encuentra directamente relacionada con el crecimiento y desarrollo de las plantas, dado que indica la energía absorbida necesaria para el proceso de fotosíntesis (Gardner, Pearce y Mitchel, 1985).

En un estudio realizado por Ayala *et al.* (2013), utilizando diversas mallas de sombreado, los resultados obtenidos con las mallas roja, perla, azul y aluminada, son promovidos por mayores transmisiones de luz con mayor capacidad para penetrar el dosel vegetal, no sólo en cuanto a intensidad, sino también en calidad, referida principalmente a su componente de luz azul, con gran influencia en la apertura estomática, y de luz roja, cuya energía es más eficientemente absorbida por las clorofilas y transferida a los centros de reacción, extendiendo de ese modo la captura de energía que actúa eficazmente en las reacciones fotoquímicas, así como, por la participación de los fotorreceptores de luz roja (fitocromos A y B) y luz azul (criptocromo) en el desarrollo de los estomas (densidad adaxial y abaxial, diámetro polar y ecuatorial, etc.), en respuesta a la calidad de la luz.

La radiación solar óptima favorece el color al permitir una síntesis mayor de pigmentos rojos (antocianinas y licopeno), mejorando el índice refractométrico (grados Brix) y aumentando el contenido de materia seca y además, el de ácido ascórbico. Dussi

(2007) describe que existe una relación lineal entre la acumulación de antocianinas y la intensidad lumínica, en la cual los carbohidratos juegan un papel clave debido a que proveen el sustrato para la biosíntesis de flavonoides e inducen la expresión de genes implicados en la biosíntesis de antocianinas (Ubi, 2004).

Algunos efectos de la radiación fueron citados en otros estudios, como Cockshull, Grave y Cave (1992), que citan en sus resultados un aumento del 1% de la RFA, que condujo a un aumento de aproximadamente 1% en el rendimiento de tomate.

Por otra parte, el "nivel de saturación de radiación" (a partir del cual los incrementos de radiación no conllevan aumentos paralelos de fotosíntesis) se produce durante los meses de alta radiación y a las horas centrales del día. Si bien sobrepasar este nivel no es en principio perjudicial para los cultivos, desde el punto de vista radiativo sí puede afectar negativamente a las temperaturas de la planta, del aire, del suelo, del agua y de los objetos que absorben las radiaciones (Castilla, 2007). El efecto del ambiente protegido en esta variable para los cultivos fue descrita por Morales *et al.*, (2006), donde la primera alteración que genera el invernadero de malla sobre los parámetros microclimáticos es precisamente una reducción de la radiación solar incidente sobre el cultivo, esto porque se han realizado medidas prospectivas en las comarcas de interior del sureste español, cuantificando reducciones de entre el 25 y el 35% de la RFA, en torno al mediodía solar respecto al exterior, en las mallas más usuales y de hasta 50% en mallas con características especiales.

Mediciones morfológicas

Diámetro del tallo

Esta variable está muy correlacionada con la medición de la altura de la planta. Ante un menor suministro hídrico, las plantas tienden a tener diámetros de tallos menores (May, Pérez, Ruiz, Ic y García, 2011). Específicamente para pepino, Gil, Fernández, González, Castaño e Iglesias (2003) indican que el crecimiento vegetativo de un cultivo de pepino

bajo invernadero puede modificarse mediante la aplicación de riegos completos y de alta frecuencia, encontrando así tallos de mayor diámetro en los suministros de mayor riego.

Altura de la planta

La intensidad y duración del menor suministro hídrico influye en los efectos y la capacidad de las plantas para resistirlo (Engelbrecht y Kursar, 2003; Garau, Ghera, Lemcoff, y Baraño, 2009). Entre los principales efectos del menor suministro hídrico sobre el crecimiento está la reducción en la altura, tallo, raíces, área foliar, peso foliar específico y biomasa de la planta (Farooqi, Shukla, Sharma, y Bansal, 1994; Engelbrecht y Kursar, 2003; Khurana y Singh, 2004; Singh y Singh, 2006; Turner, 1986).

En general, el déficit hídrico afecta cada aspecto del crecimiento de la planta que involucra a la anatomía, morfología, fisiología y bioquímica, como fallos en la germinación, la reducción en la altura de la planta, área foliar y rendimiento del cultivo (Florido y Bao, 2014).

En el chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) sometido a tensión hídrica se disminuye la altura de planta, el diámetro basal, el volumen de raíces y la biomasa (Pérez, Pineda, Latournerie, Pam-Pech y Godoy, 2008; Quintal, Pérez, Latournerie, May, Ruiz y Martínez, 2012).

Rendimiento y Calidad

El rendimiento es una característica altamente influenciada por el ambiente, la heredabilidad es baja y está asociada de manera directa e indirecta con otros rasgos de interés como son el número de frutos y peso de los frutos. El efecto en las variables de rendimiento y calidad, ante una condición adversa hídrica, es regulado por los procesos de la planta a nivel celular los cuales son: el crecimiento, división y cambios en la forma celular, señalización hormonal, el metabolismo, absorción de nutrientes, cierre estomático, peroxidación de lípidos, cambios de la permeabilidad de las membranas,

degradación de proteínas, síntesis de ABA y cambios en la expresión de genes (Bray, 1993).

El rendimiento en chile dulce que puede alcanzarse en invernaderos con tecnología intermedia es aproximadamente de 130T/ha, utilizando tecnología mediana-alta se alcanzan hasta 180T/ha y con alta tecnología se logran hasta 250T/ha (Moreno, Mora, Sánchez y García, 2011).

Los países europeos han alcanzado los mejores niveles de rendimiento de chile pimienta por hectárea a nivel mundial. Así, en los Países Bajos entre 1999 y 2013 se logró un rendimiento promedio de 262,5T/ha; en el Reino Unido se llegó a 231,3T/ha y en Bélgica a 210T/ha en el mismo período.

Para el área latinoamericana, Chavarría (2013), determinó en Cartago un rendimiento entre 36,3-38,8T/ha, en condiciones de invernadero cultivado en suelo, con tratamientos de distintas dosis de fertilizantes. FHIA (2009) cita que en Honduras bajo ambiente protegido, van desde los 75,1 a 90,8T/ha de chile dulce y por otra parte Oliva (2015) en la zona de Zacapa, Guatemala, utilizando tratamientos de poda y cobertura plástica, obtuvo un rendimiento que va desde los 107,15-30,2T/ha, además reporta un total de 58-55días a la primera cosecha.

La variedad Nathalie reporta un peso promedio del fruto de 170g y 90días para la primera cosecha (Syngenta, 2016).

A nivel nacional el comportamiento de esta variedad de chile dulce bajo ambiente protegido, fue descrita por Salazar (2016), y utilizando tratamientos de fertilizante foliar y hormonas orgánicas a base de algas, reporta un diámetro promedio de 18,55mm, una altura promedio de 253,3cm, un rendimiento promedio de entre 9,27 y 11,59 kg/m²; además reporta un peso promedio de fruto de 110,5g, con un nivel promedio de grados brix de 7-9°brix, y una distribución de la calidad de por planta según categoría comercial en: Especial

de 0,10 a 0,15 frutos; de primera de 2,63 a 3,85 frutos; de segunda de 2,88 a 5,68 frutos; tercera de 1,23 a 1,67 frutos; y en rechazo de 0,94 a 1,27 frutos.

El efecto en los días a la primera cosecha en plantas con un menor suministro hídrico, se vincula con la teoría expuesta por Gliessman-Stephen (2002) y Waller (2004) quienes afirman que una planta bajo condiciones de menor suministro hídrico requerido, se estimula y más rápidamente ingresa en su fase reproductiva, que obliga tempranamente la floración, fructificación y formación de semillas.

Para el híbrido Modan, en la Estación Experimental Fabio Baudrit, en Alajuela, Costa Rica, se reportó un número de frutos totales por planta de 22,04. Con la siguiente distribución de la calidad de los frutos por planta: 10,61 frutos de primera, 5,66 frutos de segunda y 5,76 frutos de rechazo. Un peso promedio del peso del fruto de 281,67g. Esta autora ubica esta variedad dentro de la clasificación de “pepinillos” según este resultado, también un porcentaje de sólidos solubles de 3,40°Bx. Por último, esta variedad reporta un rendimiento por área de 175,76T/ha en este sitio. El genotipo tipo “francés” Modan RZ, se comporta como un tipo “pepinillo” en cuanto a esta variable (Chacón, 2015).

El comportamiento del híbrido Modan bajo ambiente protegido para la zona de Alajuela fue descrito por Salazar (2016) utilizando tratamientos de fertilizante foliar y hormonas orgánicas a base de algas, con un diámetro promedio de 11,90mm, una altura de 734,27cm y un rendimiento de entre 19,37 y 23,87 kg/m²; además con un peso por fruto promedio de 323,6 a 308,1g, unido a un promedio de grados brix de 3,45 a 3,12°Bx. Por último, este autor reporta una distribución de la calidad según clasificación comercial de frutos por planta de primera de 21,16 a 17,16; de segunda de 2,10 a 1,63; de tercera de 0,33 a 0,16 frutos; y de la categoría rechazo de 0,33 a 0,20 frutos por planta.

El efecto en las variables de rendimiento y calidad, ante una condición adversa hídrica, es regulado por los procesos de la planta a nivel celular los cuales son: el crecimiento, división y cambios en la forma celular, señalización hormonal, el metabolismo, absorción de nutrimentos, cierre estomático, peroxidación de lípidos,

cambios de la permeabilidad de las membranas, degradación de proteínas, síntesis de ABA, y cambios en la expresión de genes que en su mayoría se relacionan con una sobre-expresión de los genes que codifican en proteínas que confieren resistencia al estrés hídrico (Bray, 1993).

Entre las proteínas más importantes por su efecto protector potencial están las proteínas LEA y las que funcionan como antioxidantes. Durante el menor suministro hídrico también se induce la expresión de varios factores de transcripción que median la respuesta de genes al estrés. Se ha propuesto que las proteínas LEA protegen otras proteínas y membranas del daño debido a la deshidratación (Bray, 1993).

El agua, como resultado de su constante dieléctrica, mantiene viva la estructura de proteínas y fosfolípidos, y es posible que proteínas tales como las LEA D-11 y D-13, las cuales forman una estructura en "*random coil*" (aminoácidos orientados al azar), sustituyan el agua y mantengan la estructura de proteínas y membranas en ausencia de esta. Para proteínas tales como la D-29, que pueden formar hélices anfifílicas, se ha propuesto que puedan actuar como trampas de iones, secuestrando iones que están concentrados durante la desecación (Baker, Van dennSteele, y Dure, 1988). Aunque estas funciones no se han probado, existe evidencia circunstancial que sugiere su papel como protectoras en diferentes tipos de estrés. Se ha obtenido evidencia directa del papel de, al menos, algunas de estas proteínas en la tolerancia a la sequía, como es el caso de la Em de trigo, una proteína altamente hidrofílica, perteneciente al grupo 1, la cual fue sobre-expresada en levadura y confirió resistencia contra diferentes tipos de estrés osmótico (Swire-Clark y Marcotte, 1999).

Bajo condiciones de menor suministro hídrico en los experimentos realizados en la EEAFBM en Alajuela, se observó un aumento consistente en la fruta de rechazo y una disminución gradual en las frutas de primera y segunda categoría conforme decreció el suministro de agua a la planta; el mismo comportamiento se presentó en ambos híbridos evaluados. Una de las principales razones por las que se puede presentar fruta de rechazo, es por un nivel deficiente de humedad en el sustrato. El fruto es un órgano altamente

demandante de agua y cuando se presenta un menor suministro hídrico, con frecuencia aparecen problemas como deformaciones, lesiones en la pared del fruto por deshidratación y pudrición apical. De estas, la pudrición apical fue la causa de rechazo más frecuente en esta investigación y se asocia a bajos niveles y fluctuaciones de humedad, pero también a deficiencias de calcio. Este mismo autor describe como, la alta radiación típica en la zona, con un valor promedio cercano a $800\mu\text{M}/\text{ms}^2$, y temperaturas máximas de 33 a 35°C, con picos de hasta 37°C en el interior del invernadero, afectaron la producción. La temperatura óptima para una buena fructificación en el chile se logra dentro de los ámbitos de 22 a 28°C durante el día y 16 a 18°C durante la noche. A medida que las temperaturas se alejan de estos valores ideales, el rendimiento disminuye (Quesada, 2015).

Una interpretación teórica sobre el efecto en el rendimiento y la calidad del fruto se relacionado con lo expuesto por Peil y Gálvez (2005), quienes mencionan que la tolerancia de las plantas ante un menor suministro hídrico sucede a través de la prolificidad del material en compensación con el menor peso de la fruta, ó de forma inversa el material, pese a tener menor cantidad de frutos, alcanza un rendimiento importante dado el peso de los frutos, lo que se da básicamente por la relación fuente-sumidero, donde los frutos son el sumidero principal, y la forma como se distribuyen los fotoasimilados. Peil y Gálvez (2005) describen que, los mecanismos de estrategia de defensa de la planta ante una condición adversa, como el menor suministro hídrico es aumentar el número de frutos para tratar de garantizarse mayor producción de semilla y eventualmente una mayor supervivencia.

Mediciones Fisiológicas

Contenido de sólidos solubles

Una característica importante que refleja la calidad del pimiento son los SST ya que presentan gran variación en función del cultivar, nutrición de la planta, conductividad eléctrica de la solución nutritiva, estrés hídrico, entre otros (Urrestarazu, Castillo, y Salas, 2002). En pimiento, algunos autores como Castro, Saraiva, Domínguez, y Delgadillo (2007), reportan datos de SST con valores de 4,9°Bx, a la vez Rao, Gol, y Shah (2011),

exponen valores que van de 2,9 a 5,8°Bx. Esta variable se encuentra relacionada principalmente con los carbohidratos contenidos en el jugo del fruto, así como de minerales disueltos. Con respecto a esta variable y el menor suministro hídrico, Oliveira (2012) reporta un contenido de sólidos solubles de entre 4,73-3,7°Bx, en el híbrido Atlantis (Topseed) con diferentes tratamientos de fertilización nitrógeno-potasio.

Otra de las consecuencias de la adaptación de las plantas al menor suministro hídrico es un incremento en la concentración de solutos a nivel de tejidos, tales como: aminoácidos, carbohidratos, proteínas e iones inorgánicos. La acumulación de estos elementos le permite a la planta mantener su crecimiento cuando existen bajos niveles de agua en el medio, a lo que se le llama ajuste osmótico. Se ha observado que el ajuste osmótico depende principalmente de la magnitud del menor suministro hídrico, de las condiciones ambientales y las diferencias entre cultivares de la misma especie (Turner y Jones, 1980). Esto también es descrito por Dry, Loveys, Botting y During. (1996), donde la reducción en la densidad del follaje puede resultar en una mejor penetración de la luz en las zonas del racimo con la consecuente mejora en la densidad de la calidad de la fruta.

Una de las principales respuestas al menor suministro hídrico es la modificación de la expresión génica mediante el ajuste osmótico, esta se relaciona con la producción de enzimas clave en la vía de síntesis de osmolitos, proteínas con función protectora, enzimas antioxidantes, factores de transcripción y otras proteínas involucradas en las respuestas al menor suministro hídrico. La prolina es uno de estos compuestos y su función ha sido asociada al mantenimiento de la turgencia de los tejidos y la conservación de la actividad enzimática en la célula (Ramanjulu y Sudhakar, 2000; Florido y Bao 2014). Así como varias peroxidases se caracterizaron parcialmente en el líquido de gutación de fresa (*Fragaria ananassa*), tomate (*Lycopersicon esculentum*) y pepino (*Cucumis sativus* L.) (Biles y Abeles, 1991).

El mecanismo de tolerancia implica que las plantas pueden resistir el déficit de agua en el suelo, y se explica por el mantenimiento de la turgencia, a través de un ajuste osmótico, que implica acumulación de solutos en la célula, aumento de la elasticidad de las

células, reducción del tamaño de las células y resistencia protoplasmática; sin embargo, se puede presentar una gran acumulación de iones por la pérdida de agua que, en altas concentraciones, se denomina estado vítreo, pudiendo causar desnaturalización de las proteínas y las membranas, ya que se incrementa la interacción entre moléculas (Agbicodo *et al.*, 2009).

A nivel celular, el ajuste osmótico, consiste en una disminución del potencial hídrico en los tejidos vegetales, lo cual tiene como consecuencia la entrada de agua y, por tanto, no se presenta una disminución en el turgor o en la productividad fotosintética. El ajuste osmótico se da en las plantas a través de la biosíntesis de osmolitos orgánicos de bajo peso molecular y por la acumulación de iones, fundamentalmente K^+ (Cushman, 2001).

En pepino como fruto no climatérico, no se han reportado altos valores de Brix una vez cosechados (Muy, Siller, Díaz y Valdéz, 2004; Moreno, Cruz, García, Ibañez, Barrios y Barrios, 2013). De acuerdo con Moreno *et al.* (2013) no se presentan cambios significativos durante el desarrollo del fruto, como ocurre con los frutos climatéricos, esto quiere decir que durante la lectura de datos existe muy poca probabilidad de que los valores se alteren si se realizan en diferentes lapsos en postcosecha, estableciendo esta variable de gran representatividad en la calidad de este cultivo.

Sistema de medición de intercambio gaseoso (IRGA)

La medida de la transpiración y conductancia de las hojas al vapor de agua es importante en la investigación de las relaciones de agua en la planta. La transpiración es el determinante principal del balance de energía de la hoja y del estado hídrico de la planta y, junto con el intercambio de CO_2 , determina la eficiencia del uso del agua (Percy, Schulze, y Zimmermann, 2000).

Los analizadores de gases portátiles permiten así realizar mediciones de intercambio gaseoso en hojas vivas de plantas en su ambiente natural o en laboratorio. En estudios agronómicos, pueden ser utilizados para relacionar la productividad de los cultivos con los

distintos tipos de estrés y prácticas de manejo, o para la comparación de diferentes genotipos bajo distintas formas de cultivo o ambientes. Si una hoja fotosintéticamente activa y transpirando se dispone en una cámara cerrada bajo condiciones de irradiancia, la concentración de CO₂ en la cámara se reducirá, mientras que el contenido de vapor de H₂O en el aire se incrementará. La tasa de agotamiento del CO₂ se corresponde a la actividad fotosintética y la adición de vapor de H₂O en la cámara a la tasa de transpiración (Fernández y Gyenge, 2010).

Tasa fotosintética (A_{máx})

El menor suministro provoca, la disminución de la asimilación de CO₂ y consecuentemente una reducción de la tasa fotosintética. La disminución de la difusión de CO₂ de la atmósfera al sitio de carboxilación, generalmente se considera la causa principal de la disminución de fotosíntesis en condiciones de déficit hídrico moderado. Esta limitación incluye componentes del mesófilo y estomáticos. Además de la disfunción del CO₂, la síntesis de ATP y el estado reductor, las condiciones de estrés abiótico pueden afectar negativamente el ciclo de Calvin por reducción del contenido y actividad del carbono fotosintético en el ciclo enzimático, incluyendo RuBisCO, FBPase y la PDK. Durante este proceso ocurre una disminución en la síntesis de ATP (Florido y Bao, 2014).

Por otro lado, González-Real, Liub y Baille (2009) expresan que la respuesta fisiológica de las plantas durante su ontogenia es explicada por la demanda de los frutos en desarrollo ya que los compuestos nitrogenados se movilizan desde las hojas aledañas, lo cual reduce la fotosíntesis. Decoteau (1990) indica que a medida que la planta crece y sombrea su entorno, ocasiona que la radiación reflejada disminuya; en concordancia, Cowan, Lange, Nobel, Osmond, y Ziegler (1982) y Farquhar y Sharkey (1982) citan que el sombreado en las hojas acelera el proceso de senescencia de las mismas y por tanto su falta de funcionalidad, dicho proceso está relacionado con la disminución en la capacidad de asimilación de CO₂.

Además, Lelièvre, Latchè, Jones, Bouzayen y Pech (1997) y Jiang y Fu (2000), señalan la demanda de etileno durante la etapa reproductiva de las plantas, lo que se esperaría un considerable menor requerimiento de fotoasimilados, y el efecto restringente en la fotosíntesis cuando esta hormona genera la senescencia de algunas hojas.

Conductancia estomática (g)

Taylor *et al.* (2012) mencionan que ha sido demostrado que la conductancia estomática máxima está determinada por el tamaño y la densidad de los estomas, correlacionado con el vigor de la estructura morfológica.

Los poros estomáticos completamente abiertos ocupan entre el 0,5% al 5% de la superficie de la hoja y se caracterizan por su marcada capacidad de apertura y cierre. Estos cambios dependen de las alteraciones tanto en tamaño como en forma de las células epidérmicas especializadas adyacentes a los mismos, denominadas células guarda. Tienden a ser más frecuentes en el envés de las hojas, aunque también se pueden encontrar en otras zonas como haz de las hojas, el tallo, el fruto y las inflorescencias. Las hojas que presentan poros por las dos caras se denominan anfiestomáticas y las que presentan solo por una cara hipoestomáticas.

La extrema sensibilidad de los estomas tanto a los factores ambientales como fisiológicos hace que sean capaces de funcionar de tal forma que tienden a optimizar el balance entre la pérdida de agua y la absorción de CO₂ (Farquhar y Sharkey, 1982).

Los cambios en la turgencia de las células guarda se deben tanto a un cambio en el potencial hídrico total de las células por la pérdida o ganancia de agua, como a un cambio activo en el potencial osmótico provocado por la variación en la concentración de solutos (especialmente el ión K⁺) (Hamlyn, 2013).

Otro mecanismo de resistencia a nivel fisiológico es el cierre de estomas, ya que estos son los responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas. El

proceso de cierre de los estomas, cuando el mesófilo comienza a sufrir deshidratación, está regulado por el ABA. El contenido de ABA en la hoja se incrementa debido a la descompartmentalización y redistribución desde los cloroplastos de las células del mesófilo y a la síntesis y transporte desde las raíces, siendo liberado al apoplasto para llegar a las células guarda a través de la corriente de transpiración. Esta fitohormona produce una pérdida de iones K^+ (calculada en 4-8 veces de disminución, desde 400-800mM hasta 100mM) y de aniones Cl^- o malato²⁻ en las células guarda, que provoca una salida de agua del citoplasma, dando lugar al cierre del estoma.

En condiciones de menor suministro hídrico se estiman disminuciones de la turgencia, del CRA y de la conductancia estomática (Florido y Bao, 2014).

Transpiración (E)

El crecimiento de la planta y la producción están directamente relacionados con la disponibilidad de agua, aunque sólo un 1% es utilizado en la actividad metabólica (Rosenberg, Blad y Verma, 1983). La mayoría del agua absorbida pasa a través de la planta y es evaporada hacia el aire, dicha absorción asegura el transporte de una gran cantidad de nutrientes desde el suelo hacia los órganos vegetativos. El proceso de evaporación del agua que ha pasado a través de la planta se denomina transpiración, es el componente fundamental del consumo de agua e interviene significativamente en el control del estado hídrico de la planta.

La transpiración juega un papel importante no solamente en el mantenimiento de la turgencia de los tejidos, sino también en la regulación de la temperatura de la hoja (Hatfield y Burke, 1991) y en el transporte y asimilación de nutrientes (Jolliet, 1993), determinando, por tanto, en gran medida el desarrollo de los cultivos y la formación de frutos. El control estomático de la conductancia de la hoja es una de las formas que los vegetales tienen para controlar la pérdida de agua por transpiración. A menudo se utiliza la medida de esta conductancia o su inversa, la resistencia estomática, como un indicador del estrés. Todos los factores climáticos influyen en la transpiración produciendo variaciones en la apertura

estomática, pero son especialmente importantes la radiación y la humedad relativa (Kitano, Eguchi y Matsui, 1983; Jolliet, 1993).

Cuando la radiación incide en la superficie de la hoja, la energía que es absorbida es parcialmente disipada mediante la evaporación de agua en forma de calor latente y como emisión de calor sensible, otra parte es almacenada en los procesos metabólicos y como energía térmica en el interior de la hoja.

Dentro de las vías para evitar la deshidratación frente a esta imposición del ambiente, está el recubrimiento de las hojas con una epidermis poco permeable y el control de la apertura de los estomas, que en buena parte obedece a la disponibilidad de agua en las raíces. Así la planta ajusta su gasto a la disponibilidad hídrica, reduciendo fuertemente (hasta a la décima parte) el agua transpirada (Medrano, Escalona, Bota, Gullias, y Flexas, 2002; Escalona, Flexas, Bota, y Medrano, 2003).

Cuando el cultivo se somete a menor suministro hídrico, los estomas se cierran, la transpiración decrece y la temperatura de la hoja aumenta. Cuando una planta transpira sin disminuciones en el suministro hídrico, la temperatura de la hoja es entre 1 – 4°C menor que la temperatura ambiental. Cuando la transpiración decrece, la temperatura de la hoja asciende y puede alcanzar de 4 a 6°C más que la temperatura del aire. En este caso, el déficit hídrico es alto, la transpiración de las hojas se ve drásticamente reducida con el incremento de la temperatura foliar (López, Arteaga, Vázquez, López, y Sánchez, 2009).

Miguel (2007) cita en su libro: “Algunos portainjertos tienen mayor capacidad de extraer agua del suelo, en condiciones de déficit hídrico, que las plantas sin injertas. Otros, por el contrario, son tolerantes al encharcamiento y pueden permitir el cultivo de una planta sensible”. Roupael, Cardarelli, Colla y Rea (2008) aseveran rotundamente que: “El injerto pueden aumentar la resistencia a la sequía, la eficiencia de la planta en el uso del agua, y el crecimiento de las plantas”. Comprobaron en sandía “mini” (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum and Nakai cv Ingrid), en un ensayo plurianual, el rendimiento comercial disminuyó linealmente en respuesta a un menor suministro hídrico, pero cuando se

comparaban rendimientos a lo largo de los años, las plantas injertadas conseguían aumentos del 115% en el rendimiento total y del 61% en el comercial. Parámetros de calidad como materia seca o contenido en sólidos solubles totales se mantuvieron en niveles similares en los dos tipos de plantas: injertadas y sin injertar.

Eficiencia en el uso del agua (EUA)

Las medidas de intercambio de gases en hojas permiten determinar la transpiración (salida de agua de la planta) y la fotosíntesis neta (entrada neta de CO₂ en las hojas). La EUA a escala foliar es el cociente de estos dos parámetros, y se considera a dos niveles. En primer lugar, la eficiencia de la transpiración, esto es: asimilación de CO₂/ transpiración ($A_{m\acute{a}x}/E$, $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$); en segundo lugar, la eficiencia intrínseca en el uso del agua: asimilación de CO₂/conductancia estomática ($A_{m\acute{a}x}/g$, $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$ (Medrano *et al.*, 2002).

La EUA en las plantas se puede definir como la cantidad de materia seca producida por unidad de agua consumida. Está es dependiente principalmente de dos factores: 1) de las características de cada especie relacionadas con los procesos de asimilación de CO₂ y evapotranspiración; 2) de las condiciones ambientales en donde se desarrolla (humedad relativa, tipo de suelo, intensidad luminosa entre otros) (Escalona *et al.*, 2003).

Rendimiento y uso del agua, son parámetros estrechamente relacionados con la fotosíntesis y la transpiración, el manejo del agua en ambientes controlados es de gran importancia para incrementar lo que se llama "productividad del agua o eficiencia de uso de agua"; además, el entendimiento de procesos fisiológicos básicos de las plantas (señalización raíz-tallo) y su uso en estos sistemas de producción intensivo, es una variante más que ha ayudado a incrementar la eficiencia de estos (Davies y Zhang, 1991).

Es evidente que una EUA mayor, con una tasa fotosintética proporcional, junto a una movilización alta de fotoasimilados hacia los órganos de interés antropogénico, pueden

mejorar el rendimiento de los cultivos bajo menor suministro hídrico (Parry, Flexas y Medrano, 2005; Singh y Reddy, 2011).

Ante una disminución en el abastecimiento hídrico, Ismail (2010) explica que el movimiento del agua hacia el fruto puede haber disminuido con el desarrollo progresivo del déficit hídrico sin afectar la translocación de la materia seca en el fruto, este resultado condujo a un aumento en la producción en masa por unidad de agua, lo que llevó a un aumento en la eficiencia del uso del agua de riego.

Así también, Medrano (1999) manifiesta que la EUA del cultivo puede mejorarse tanto mediante la reducción de la demanda evaporativa como por el aumento del rendimiento productivo.

Fluorescencia (F_v/F_m)

Cuando una molécula de clorofila es excitada por la luz, la energía absorbida puede ser disipada a través de tres procesos: (a) fotoquímica (separación de carga a nivel de centro de reacción del PSII), (b) disipación térmica (procesos no-fotoquímicos) y (c) fluorescencia, o sea emisión de cuantos (fotones) de luz. Los tres procesos mencionados compiten entre sí en la des-excitación de la molécula, de tal forma que el aumento en la eficiencia de cualquiera de ellos resulta en la disminución del rendimiento de los otros. La fluorescencia es la emisión de luz que se emite cuando el electrón de una molécula vuelve a su estado energético basal. En el caso de las plantas, la fluorescencia procede fundamentalmente de las moléculas de la clorofila a asociadas al PSII (Govindje, 1995) y la emisión tiene un pico entre 690 y 730nm.

En la actualidad para medir únicamente la fluorescencia se requiere aplicar luz hiper-saturante, es decir al irradiar la hoja con una PPFD suficiente para asegurarnos que el *pool* de Q_A está totalmente reducido (recuérdese que la Q_A acepta electrones de la Pheo a nivel del centro de reacción del PSII). En esta situación (*por ej.* todos los centros de reacción “cerrados”), sólo la fluorescencia y la disipación térmica son vías de des

excitación alternativas para las moléculas de clorofila. Para filtrar la información el aparato fotosintético puede regular la magnitud de la disipación térmica, principalmente a través de cambios conformacionales de LHCII, un mecanismo no del todo caracterizado, pero que involucra al llamado ciclo de las xantofilas (Gilmore, 2002). Estos cambios que se producen en el LHCII lo transforman de realizar función de un “embudo” eficiente de transferencia de energía hacia el centro de reacción, para pasar a ser un sistema “disipador”.

Los efectos abióticos sobre el aparato fotosintético pueden ser estudiados a través de la medición del rendimiento cuántico máximo del PSII, conocido como F_v/F_m , donde F_v es la fluorescencia variable = $(F_m - F_0)$, F_m es fluorescencia máxima. Su medición se realiza en oscuridad en hojas aclimatadas durante 20-30 minutos. Este coeficiente puede tomar valores entre 0 y 0,85. Hojas maduras, no senescentes y que no estén sufriendo un menor suministro hídrico, poseen típicamente valores alrededor de 0,8. Este índice muestra una clara correlación con el porcentaje de centros funcionales del PSII (Anderson, Park y Chow, 1997), por lo que su disminución es considerada un indicador de pérdida de función (daño) a nivel del aparato fotosintético (Bilger, Schreiber, y Bock, 1995). Sin embargo, también se ha descrito una disminución de este parámetro asociado a procesos de fotoprotección (Osmond, Anderson, Ball y Egerton, 1999), y esta posibilidad debería tenerse en cuenta. Típicamente, el coeficiente F_v/F_m no se modifica o se modifica muy poco en situación de menor suministro hídrico; llegándose a requerir niveles de estrés hídrico muy intensos, incluso por encima de los límites de supervivencia de las plantas, para observar acusadas variaciones en su valor (por ej., el PSII no sufre daño; (Tambussi, Bartoli, Guiamet, Beltrano, y Araus, 2004)). No obstante, se ha observado que puede sufrir caídas pronunciadas en hojas de plantas sometidas a bajas temperaturas si la especie o ecotipo es susceptible (“chilling”; Tambussi *et al.*, 2004). Así, por ejemplo, Aranda, Castro, Alía, Pardos, y Gil (2005) caracterizaron la variación en la susceptibilidad a las bajas temperaturas entre diferentes poblaciones de *Quercus suber* L. mediante el análisis de la variación estacional de la F_v/F_m . En este trabajo se observó un mayor grado de diferenciación interpoblacional en los periodos más fríos.

Ante condiciones adversas debida a estrés, se modifican las proporciones del reparto de energía entre estos procesos de fluorescencia (Moreno *et al.*, 2008). Correia *et al.* (2006), manifiestan que, por medio de un aumento de la peroxidación lipídica, unido a la rehidratación (suministro hídrico leve) de las plantas hace que se recupere la capacidad del PSII.

METODOLOGÍA

LOCALIZACIÓN

La investigación se desarrolló en la Finca Experimental Santa Lucía (FESL) de la Escuela de Ciencias Agrarias (ECA) que forma parte de la Universidad Nacional (UNA), se ubica a 10° 1' 20" de latitud norte y 84° 06' 45" de longitud oeste, a una altitud de 1.250msnm, en el cantón de Barva (IMN, 2009).

El experimento se realizó en un invernadero de 400 m² y con una altura de cuatro metros, el mismo fue aislado mediante malla antiáfido.

ÁREA DEL EXPERIMENTO

El área total de cada experimento correspondió a la sumatoria de los 22 sacos de fibra de coco (cada saco tiene las dimensiones deshidratado de 100cm de largo, 18cm de ancho y 16cm de grosor), los cuales corresponden a 11 sacos para el tratamiento 1 y 11 sacos para el tratamiento 2, para un total de 32,91m², y cada tratamiento con 16,456m². En relación a los dos experimentos se comprendió un total de área de 65,82m² (Figura 1).

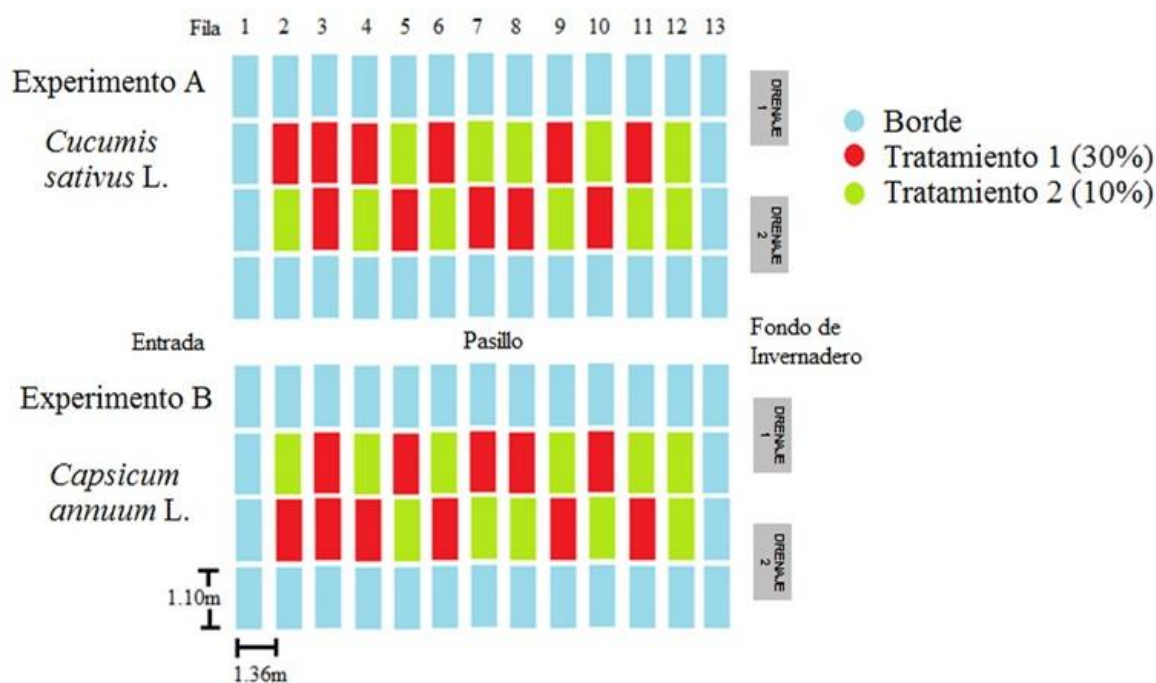


Figura 1. Diagrama de las dimensiones de la parcela útil establecida en el invernadero en Santa Lucía. Las áreas descritas abarcan los sacos hidropónicos y el espacio entre calles, para cada experimento que consta de 22 sacos hidropónicos.

TRATAMIENTOS

El estudio consistió de dos áreas para la colocación de los experimentos para cada cultivo. El experimento A corresponde al cultivo de chile y el experimento B al cultivo de pepino. Los tratamientos consistieron en trabajar con el porcentaje de drenaje, y se consideró un suministro de agua con un drenaje al 30% (tratamiento 1) y un drenaje al 10% (Tratamiento 2).

Para obtener estos registros, se agregaron a los experimentos cuatro sacos de fibra de coco con cuatro plantas cada saco, colocados al final de cada experimento, cada saco representó un tratamiento en ambos cultivos. Este sistema de medición de drenaje, se dispuso sobre dos blocks y una tabla de madera que permitieron una altura adecuada para la captación del agua de cada tratamiento, asimismo se dispuso de un inyector de riego extra por cada tratamiento, que se comunica hacia un recipiente individual cerrado, además todos estos recipientes disponían de una lámina de plástico negra alrededor para evitar la evaporación del agua contenida (Figura 2). A partir de ese sistema de recaudación de agua, se realizó una medición diaria a las 8:00am de la cantidad de agua que alimentó cada inyector de riego de cada tratamiento, así como el agua drenada por las cuatro plantas del mismo, esto durante 24 horas transcurridas. Los datos obtenidos, fueron analizados mediante una regla de tres, obteniendo la proporción del drenaje diario.

A partir de estos resultados se procedió a aumentar o disminuir el tiempo de riego de las válvulas solenoides a través del temporalizador (Anexo 27).

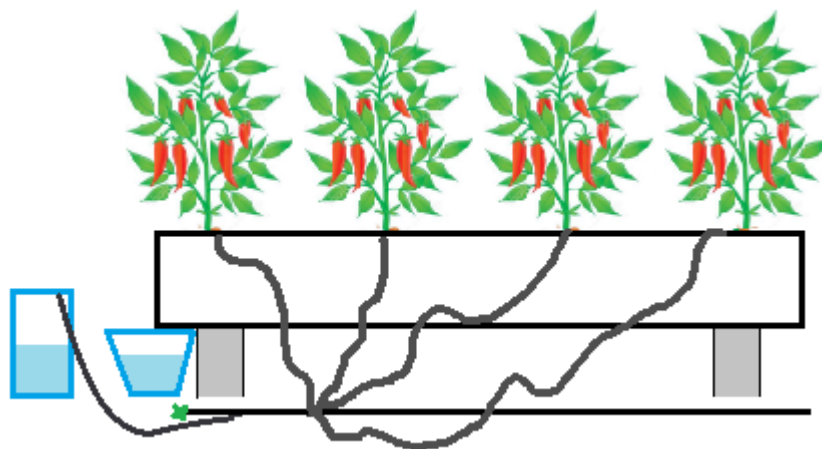


Figura 2. Sistema utilizado en cada tratamiento para la determinación del drenaje.

PERIODO

El experimento se desarrolló en el periodo entre los meses de octubre de 2015 a febrero de 2016, comprendiendo la época lluviosa.

MATERIAL BIOLÓGICO

Se trabajó con pepino (*Cucumis sativus* L.) tipo francés, tipo ‘slicer’ híbrido Modan, de crecimiento indeterminado y chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cascadura tipo roja, híbrido F1 Nathalie, de crecimiento semi-indeterminado.

MANEJO

Limpieza y desinfección de invernadero: para preparar el invernadero, se eliminó cualquier residuo de cosecha anterior, se limpió las paredes con hidrolavadora, se desinfectó las paredes, los sustratos y el suelo con Busan a 1ml/l y Kilol en una dosis de 5ml/l.

Se revisó y limpió todos los inyectores de fertirriego con un cepillo de cerdas metálicas para establecer un abastecimiento homogéneo de agua y nutrimentos en todo el sistema. A la vez se corroboró el funcionamiento del sistema de riego, cambiando todas

aquellas piezas (inyectores, goteros, conectores) que estuvieran regando inapropiadamente. Se controló mensualmente el crecimiento de las arvenses en el perímetro del invernadero, así como la poda las barreras vivas alrededor de esta.

Preparación del sustrato (sacos): inicialmente para humedecer los sacos, se agujereó definiendo el sitio de siembra, en cada agujero se penetró con el inyector del sistema de riego, después se inyectó agua durante cuatro horas diarias durante dos días. Una vez finalizado este periodo los sacos reposaron por dos días, finalizado este tiempo a los mismos se les realizó dos orificios en el extremo inferior para generar el drenaje necesario.

Sistema de fertirriego: El equipo consistió de un temporizador programable, cuatro válvulas solenoides, dos dosificadores (Dosatron código D14MZ2 caudal de 3m³/h, ajustado al 2%); dos tanques de almacenamiento de agua, uno externo de 4,200 litros y otro interno de 200 litros; un motor Pentair Sta-Rite de 1HP y dos estañones con la solución A y la solución B; sobre estos se situaron los dosificadores.

El sistema de riego: consistió en el paso de un flujo de agua por los dosificadores que se encargaron de inyectar una proporción programable (2%) de solución nutritiva al sistema para suplir las necesidades de las plantas.

El tiempo de riego: se refiere a los minutos que cada válvula solenoide permitió el paso del agua, esto se ajusta según diferentes parámetros: porcentaje de drenaje, edad de las plantas, condiciones climáticas y tratamiento. Por experiencia previa se inició con un tiempo total diario de riego de 21 minutos para el tratamiento 1 y 15 minutos para el tratamiento 2.

La frecuencia de suministro: los nutrientes y el agua se distribuyó en los ocho riegos diarios, esto a intervalos de un riego cada hora, iniciando a las 8:30am y finalizando a las 3:30pm; el procedimiento se repitió diariamente.

Programa de fertirriego: El programa se basó en los requisitos de extracción de nutrimentos en las diferentes fases fenológicas de los cultivos. El programa se basó en los resultados de análisis químico del agua reporte N°51392 realizado en el Centro Investigaciones Agronómicas (CIA), Bertsch (Correo electrónico, abril, 2014) y del programa de fertilización utilizado por el Ing. Werner Salazar (Correo electrónico, junio, 2015) con la variedad Nathalie (chile dulce) y Modán (pepino) en la EEAFBM (Anexo 12).

Para la elaboración de los concentrados de macro y micronutrimentos se utilizó los principios de compatibilidad de los diferentes productos químicos existentes en el mercado. (CREA, 2015) (Anexo 11).

Mediciones de pH y conductividad: El pH, la conductividad de la solución fertilizante y el drenaje de los sacos de siembra se midió diariamente con el fin de llevar un registro y de ser necesario hacer las correcciones de pH y conductividad que se requieran.

Siembra: En el caso del chile dulce, los almácigos se trasplantaron con 4 hojas verdaderas y se eliminó todos los brotes laterales hasta la primera bifurcación. En el caso del pepino, las plántulas se trasplantaron cuando tuvieron 1-2 hojas verdaderas, y se eliminó todos los brotes laterales.

Seguimiento: Las labores de manejo que se realizaron dentro del invernadero a diario son las siguientes:

Drenaje, se realizó un monitoreo con el objetivo de corroborar que los drenajes se mantuvieran durante toda la fase experimental en 30 y 10% (Anexo 13, 14, 15, 16, 17 y 18).

Organismos patógenos, se realizó un monitoreo semanal con el objetivo de identificar y generar información respecto a la presencia de insectos y síntomas de enfermedades y de ser necesario realizar el control de los mismos, el procedimiento varió acorde al cultivo y fase fenológica (Anexo 19 y 20).

Manejo de plantación: Para ambos cultivos se realizaron constantemente las labores de tutorado, amarre, poda, deshija y cosecha.

En la obtención de los datos para las variables fisiológicas, se utilizó el equipo Sistema abierto LI-6400 (Li-Cor Inc., Nebraska, EEUU) (Anexo 20).

En la toma de registros para el colector de datos ambientales-ecológicos, este experimento utilizó el colector de HOBO® U30 (Anexo 21), los resultados de la RFA, temperatura y humedad fue graficada en los Anexos 22 y 23.

DISEÑO EXPERIMENTAL

El trabajo consistió de dos experimentos, A y B, siendo el cultivo de chile dulce y pepino respectivamente cada experimento; para ambos experimentos se utilizó un diseño completamente aleatorio, con dos tratamientos y once repeticiones (Figura 1).

La unidad experimental consistió de un saco con cuatro plantas y un borde de un saco con cuatro plantas alrededor de cada experimento.

El modelo estadístico utilizado para los experimentos A y B fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

μ = media general

τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento, $i=1,2,\dots$

ϵ_{ij} = error experimental o término aleatorio asociado al Y_{ij} .

VARIABLES EVALUADAS

MORFOLÓGICAS

Diámetro del tallo

A las plantas de chile dulce se les midió el diámetro del tallo a los 30, 50 y 80 días después del trasplante, la misma se realizó en la base del tallo, por debajo de la primera bifurcación. Al cultivo del pepino se le midió el diámetro del tallo a los 20, 40 y 60 días después del trasplante, la misma se realizó a cinco centímetros por encima del sustrato. Para ambos cultivos se muestreó 2 plantas por unidad experimental para un total de 22 plantas muestreadas por tratamiento, estas serán las mismas en los tres momentos de medición. Se utilizó un Vernier o calibrador digital de un decimal (Marca Pittsburgh® 6).

Altura de la planta

A las plantas de chile dulce y pepino se les midió la altura (m) una vez extraídas las plantas, desde la base del tallo hasta la punta de la hoja más alta. Se muestreó dos plantas por unidad experimental para un total de 22 plantas muestreadas. Se utilizó una cinta métrica de banda metálica de una longitud de 10 metros.

RENDIMIENTO Y CALIDAD

Días a primera cosecha

Se registró la fecha de la primera cosecha por unidad experimental. Los frutos de chile dulce se cosecharon cuando alcanzaron un 100% de maduración en la planta y los de pepino cuando alcanzaron un llenado total.

Peso total de la cosecha (kg/m²)

Se midió el peso (kg) de todos los frutos recolectados por repetición y se dividió el acumulado entre el número de metros cuadrados para cada tratamiento en cada

experimento. Los datos se registraron por semana y acumulado total. Se utilizó una romana electrónica digital de un decimal (Ocony marca UWE, modelo HGM).

Número de frutos por planta

En cada cosecha se recolectó todos los frutos maduros por repetición. El número de frutos por planta por repetición fue igual al total de frutos recolectados dividido entre cuatro. Los datos se registraron por semana y acumulado total.

Peso promedio del fruto

El peso por fruto fue igual a: $(\text{Peso de la cosecha}) / (\text{Número de frutos})$. Los datos se registraron por semana y acumulado total.

Calidad comercial

Cada fruto se clasificó y contabilizó por categoría correspondiente, especial, primera, segunda, tercera y rechazo para los frutos de chile (Cerdas, 2014) y para los frutos de pepino primera, segunda, tercera y rechazo (Cerdas, 2015).

FISIOLOGICAS

Porcentaje de sólidos solubles totales

Se tomó una muestra de 5 frutos por tratamiento de cada uno de los experimentos, cada dos semanas de cosecha y se les midió los sólidos solubles con un refractómetro (EXTECH, RF15).

Conductancia estomática (g), transpiración (E), tasa fotosintética ($A_{m\acute{a}x}$) y fluorescencia (F_v/F_m).

Se determinó una vez en la fase vegetativa y otra en la fase reproductiva, en cada cultivo, para el chile dulce (Experimento A), se realizó a los 30 y a los 60 días después del trasplante. En el pepino (Experimento B) se realizó a los 20 y 40 días después del trasplante. Para ambos experimentos la determinación de estas variables se hizo para un total de 10 plantas por tratamiento, para un total de 20 plantas por experimento.

Las determinaciones de conductancia estomática, transpiración y tasa fotosintética se realizaron en la mañana y se utilizó un analizador de gases al infrarrojo (LI-6400XT, Li-Cor Inc, Nebraska, EEUU), estas mediciones se realizaron en hojas jóvenes de ambos cultivos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A todas las variables cuantitativas se les realizó un análisis ANOVA y prueba de t de Student para determinar diferencias entre tratamientos, la significancia de la prueba fue menor que 0,05.

RESULTADOS

Capsicum annuum L.

Variables morfológicas

Diámetro del tallo

El diámetro del tallo en plantas de chile dulce aumentó en ambos tratamientos de acuerdo con la fecha de medición. En el tratamiento 1 (30% de drenaje), el promedio del diámetro de las plantas pasó de 10,93mm en la medición 1, a 14,49mm en la medición 3, el diámetro de la primera medición difirió de la segunda y de la tercera ($p < 0,0001$) también se encontraron diferencias entre la segunda y la tercera medición ($p < 0,0001$). El tratamiento 2 presentó el mismo comportamiento del tratamiento 1, encontrándose diferencias entre fechas de medición (Figura 3).

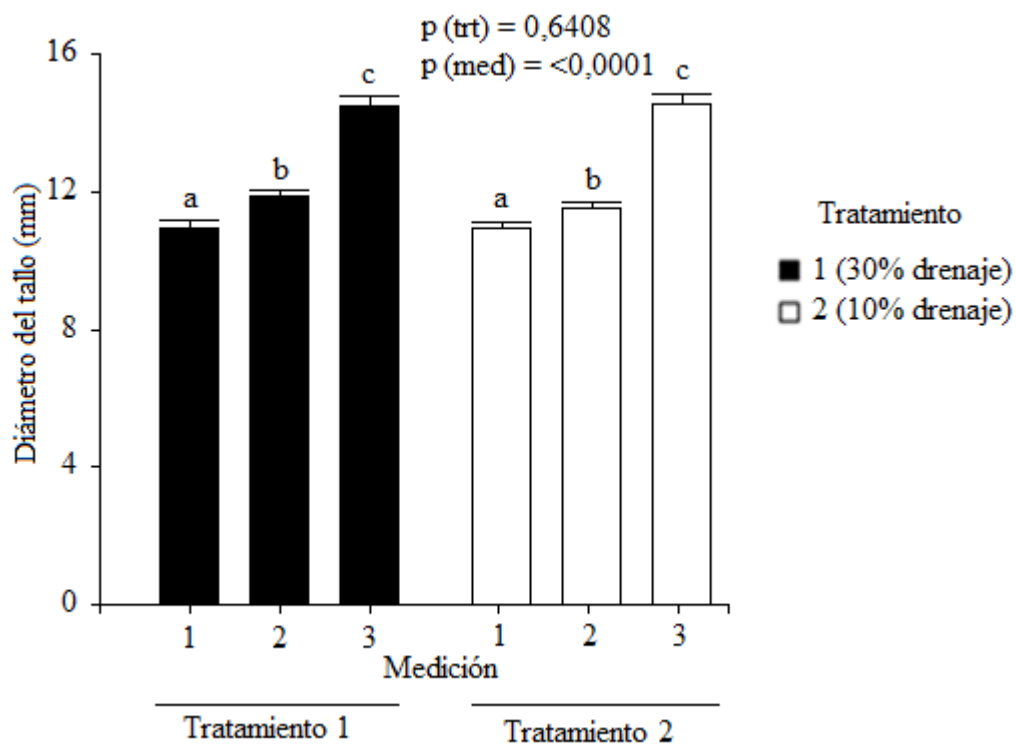


Figura 3. Promedios (\pm DE) de diámetro de tallos de plantas de chile dulce en dos tratamientos y en tres mediciones, durante el desarrollo del cultivo. Medias de los tratamientos según momento de medición con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

Sin embargo, cuando se comparó las medias totales del diámetro del tallo sin tomar en cuenta la fecha de medición, se encontró una diferencia no significativa ($p = 0,7047$) entre tratamientos de 0,08 mm (Figura 4).

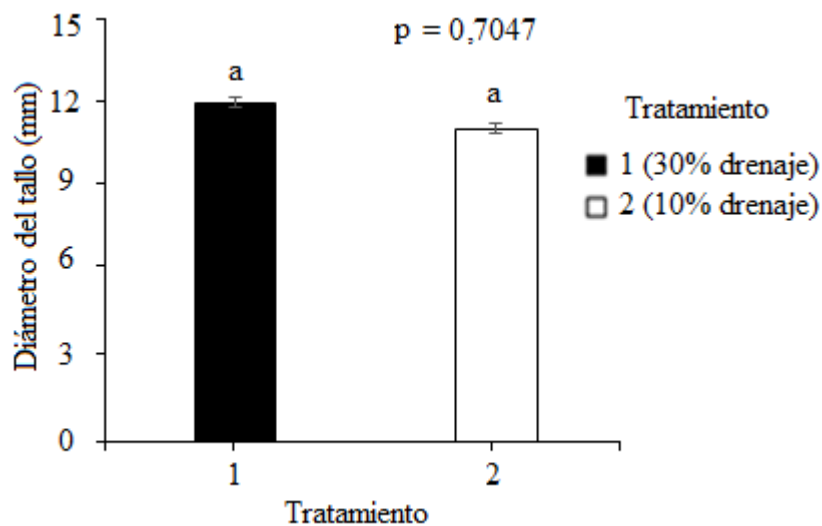


Figura 4. Diámetro promedio (\pm DE) de tallos de plantas de Chile dulce según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

Altura de las plantas

Se encontró una diferencia entre los tratamientos en la altura de las plantas ($p = 0,0002$), la cual fue en términos globales de 0,15m (Figura 5); el tratamiento 1 tuvo plantas más altas que el tratamiento 2.

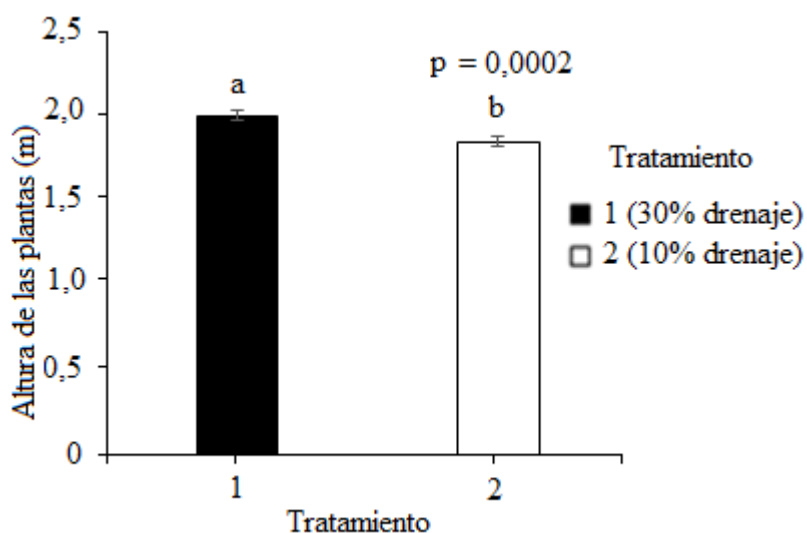


Figura 5. Altura promedio (\pm DE) de plantas de Chile dulce en metros según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

Variables de rendimiento y calidad

Días a primera cosecha

El promedio de la variable de días a primera cosecha varió según el tratamiento ($p = 0,0256$), donde el tratamiento con menor suministro hídrico inició primero en cosechar (Figura 6).

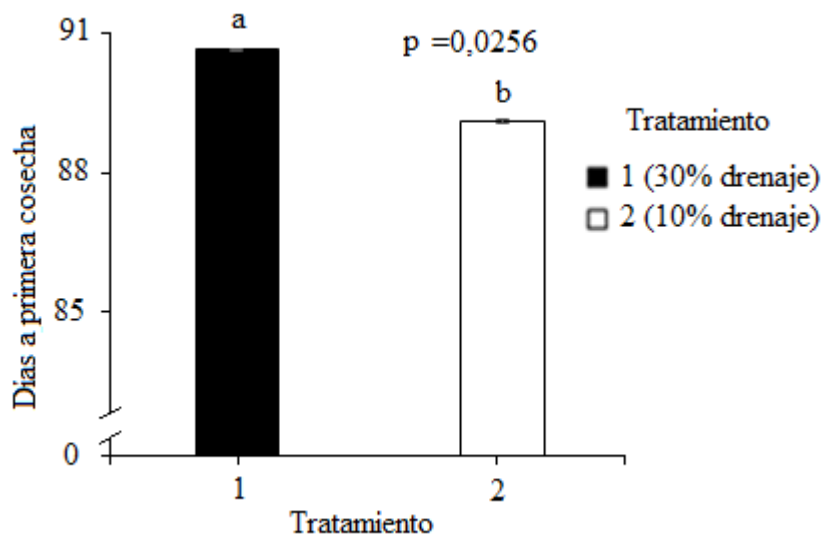


Figura 6. Promedio (\pm DE) de la variable de días a primera cosecha de plantas de Chile dulce según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

Rendimiento total por metro cuadrado

No se encontraron diferencias significativas el rendimiento entre tratamientos ($p=0,5108$), sin embargo, el tratamiento 1 tuvo un $0,21 \text{ kg/m}^2$ más que el tratamiento 2 (Figura 7).

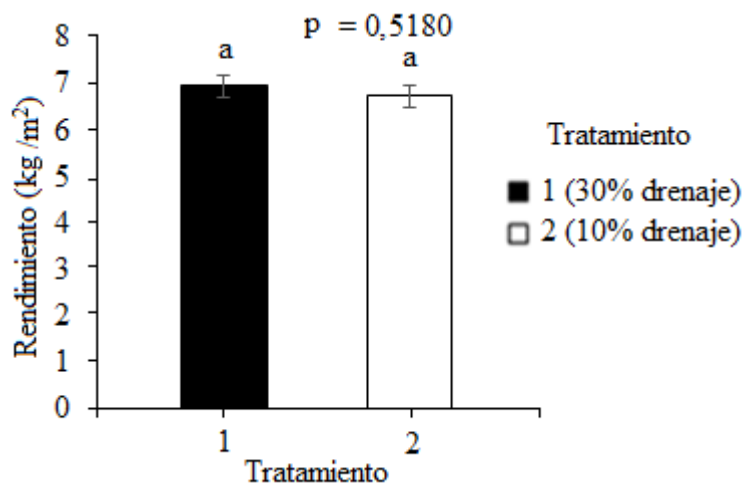


Figura 7. Rendimiento productivo (\pm DE) por área en kilogramos por metro cuadrado de las plantas de chile dulce según tratamiento. FESL (Prueba de t, $p<0,05$) (De agosto 2015 a enero 2016).

Número de frutos por planta, peso promedio de frutos y grados brix

En relación al número de frutos por planta, no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,7214$) al igual que la variable de porcentaje de sólidos solubles ($p=0,7067$) (Figura 16). Sin embargo, en la variable peso del fruto, los frutos del tratamiento 1 mostraron un peso promedio que fue $6,13\text{g}$ mayor que los del tratamiento 2, y esta diferencia fue significativa ($p=0,0324$) (Figura 8).

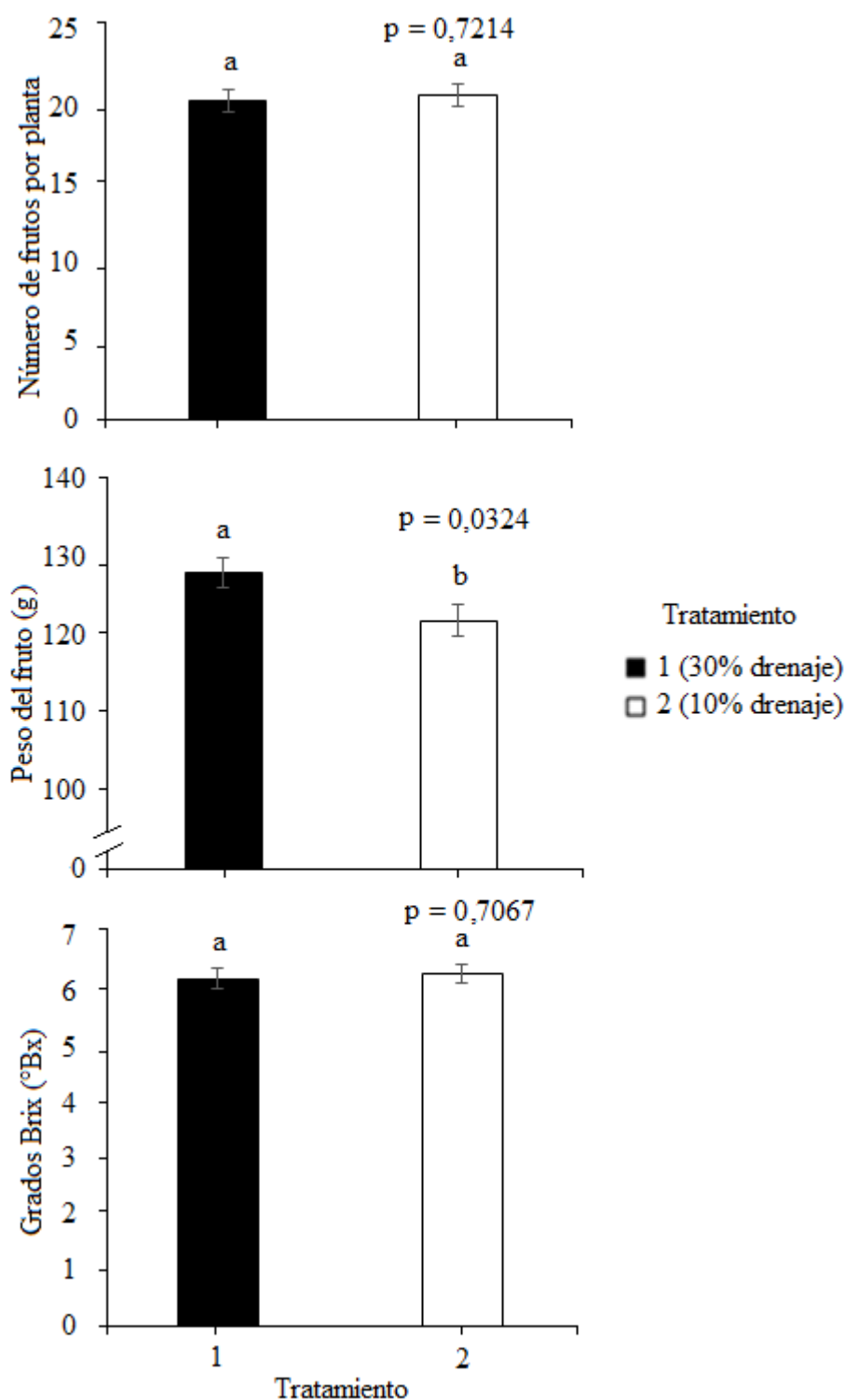


Figura 8. Medias (\pm DE) de frutos por planta, peso de frutos y grados brix, en el cultivo de chile dulce según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

Distribución de frutos cosechados según calidad comercial

Las categorías de calidad comercial de los frutos especial y rechazo no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,1546$), ($p=0,7356$); además para el tratamiento 1 el porcentaje de frutos categoría rechazo fue de 3,55% y para el tratamiento 2, fue de 3,16%.

En las categorías primera ($p=0,0358$), segunda ($p=0,0010$) y tercera ($p=0,0331$) sí se encontraron diferencias entre tratamientos. Para la categoría primera, el tratamiento 1 produjo 1 frutos más por planta, en la categoría de segunda el tratamiento 2 produjo 2,81 frutos más por planta y en la categoría tercera, igualmente el tratamiento 1, produjo 1 fruto por planta más (Figura 9), que el tratamiento opuesto, respectivamente.

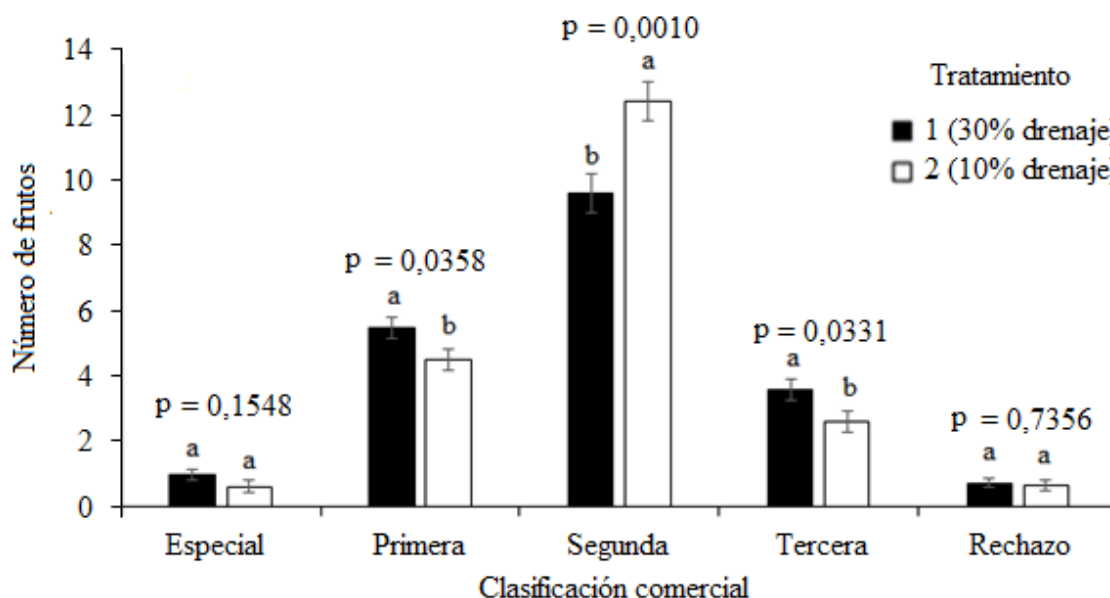


Figura 9. Distribución (\pm DE) del número de frutos por planta según clasificación de la calidad comercial y tratamiento para el cultivo de chile dulce en la FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

Variables fisiológicas

Tasa fotosintética, conductancia estomática, transpiración y eficiencia en el uso del agua

Al analizar la tasa fotosintética en los tratamientos según etapa fenológica, se encontró que en ambos tratamientos no existen diferencias significativas ($p=0,1763$). Cuando se analizó A_{\max} por las etapas fenológicas dentro de cada tratamiento, se encontró que hay diferencias significativas ($p=0,0009$). En el tratamiento 1 la etapa fenológica vegetativa produjo $3,73\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ superior a la media de la etapa reproductiva. En el tratamiento 2 de forma similar, la etapa vegetativa fue superior a la reproductiva en $3,15\mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Figura 18).

Para la variable g_s (Figura 18), no se encontraron diferencias significativas de los tratamientos según etapa fenológica ($p=0,3960$). Sin embargo, cuando se analizó las etapas fenológicas dentro de los tratamientos, sí existen diferencias ($p=0,0001$). En el tratamiento 1, existió una diferencia de $0,57\text{mol H}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$ superior en la etapa fenológica reproductiva. Mientras que en el tratamiento 2, hay una diferencia de $0,36\text{mol H}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$ superior para la etapa vegetativa. No se encontraron diferencias entre los tratamientos según fenología para la variable transpiración ($p=0,1028$). Al analizar los datos de transpiración (Figura 18), se encontraron diferencias significativas en el tratamiento 1 para cada etapa fenológica ($p=0,0016$). En el tratamiento 1, esta diferencia fue de $1,84\text{mmol H}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$ mayor para la etapa vegetativa.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos según etapa fenológica ($p=0,8173$), ni entre las etapas fenológicas de cada tratamiento para la variable EUA ($p=0,5728$). (Figura 18).

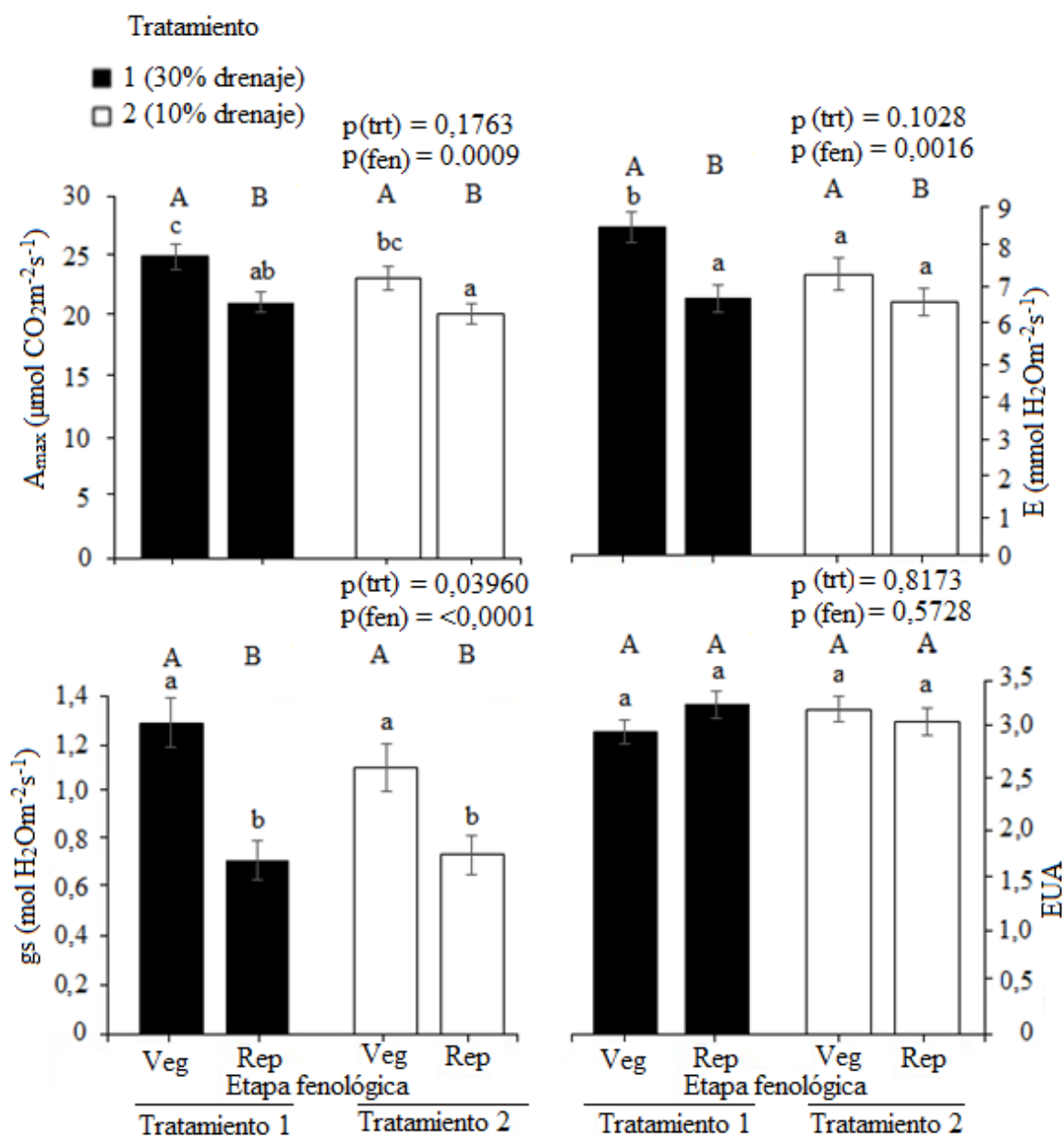


Figura 10. Promedio (\pm DE) de A_{max} expresada en $\mu\text{moles CO}_2\text{m}^2\text{s}^{-1}$, g_s en $\text{mol H}_2\text{O m}^2\text{s}^{-1}$, E en $\text{mm H}_2\text{O m}^2\text{s}^{-1}$ y EUA en el cultivo de chile dulce según tratamiento (1 y 2) y etapa fenológica vegetativa (Veg) y Reproductiva (Rep). Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).

Fluorescencia

En la variable Fluorescencia (Figura 11), no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p=0,4943$).

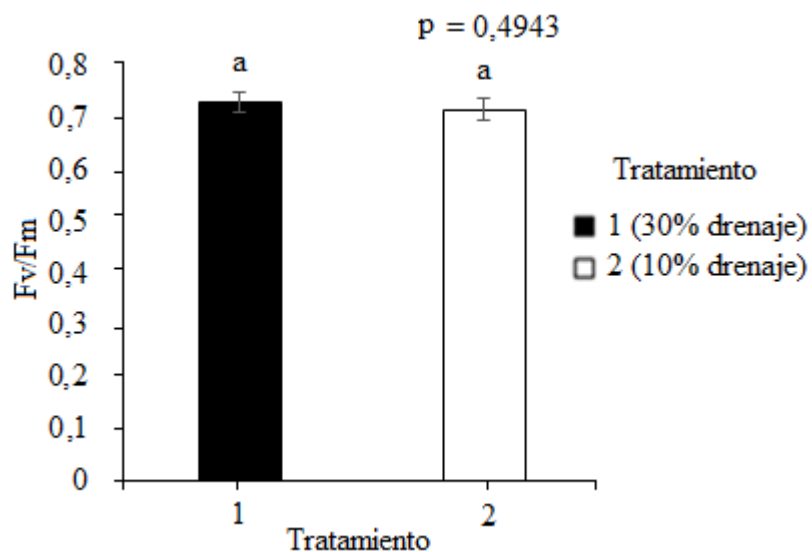


Figura 11. Media (\pm DE) de la fluorescencia en el cultivo de chile dulce, según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

Cucumis sativus L.

Variabes morfológicas

Diámetro del tallo

El diámetro del tallo de las plantas de pepino aumentó en ambos tratamientos según fecha de medición. En el tratamiento 1, el diámetro de la primera medición difirió de la segunda y de la tercera ($p < 0,0001$), sin embargo, no se encontraron diferencias entre la segunda y la tercera medición. El tratamiento 2 presentó el mismo comportamiento del tratamiento 1, encontrándose diferencias entre fechas de medición (Figura 12).

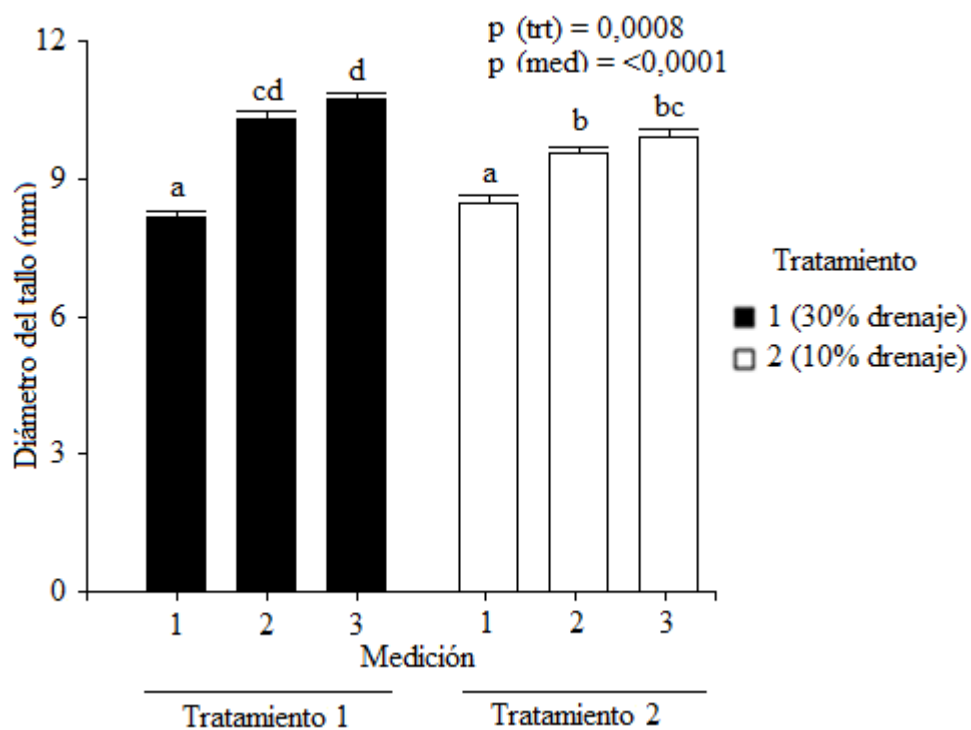


Figura 12. Promedios (\pm DE) de diámetro de tallos de plantas de pepino en dos tratamientos y en tres mediciones en el tiempo durante de desarrollo del cultivo. Medias de los tratamientos según momento de medición con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).

Sin embargo, cuando se comparó las medias totales del diámetro del tallo sin tomar en cuenta la fecha de medición, se encontró diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,0089$) (Figura 13).

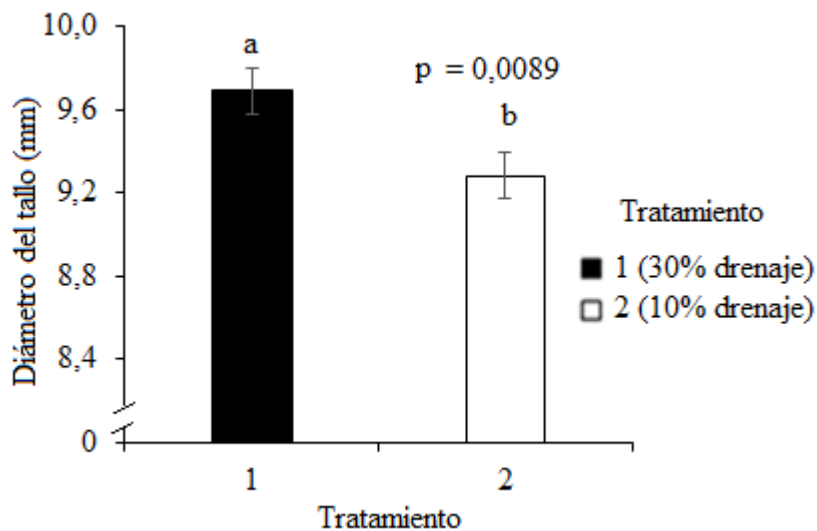


Figura 13. Diámetro promedio (\pm DE) de tallos de pepino según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de T, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).

Altura final de las plantas

En la altura de las plantas se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0035$). En el tratamiento 1, las plantas fueron 0,36m más altas que el tratamiento 2 (Figura 14).

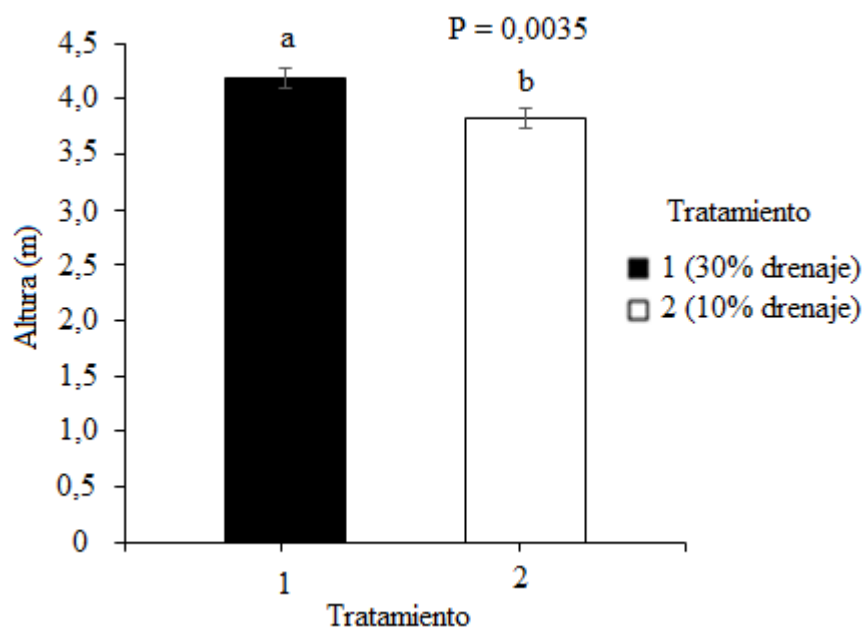


Figura 14. Altura promedio (\pm DE) de plantas de pepino en metros según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de T, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a diciembre 2015).

VARIABLES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD

Días a primera cosecha

La variable de días a primera cosecha no varió según tratamiento ($p=sd$), todas las plantas iniciaron su cosecha el mismo día (Figura 14).

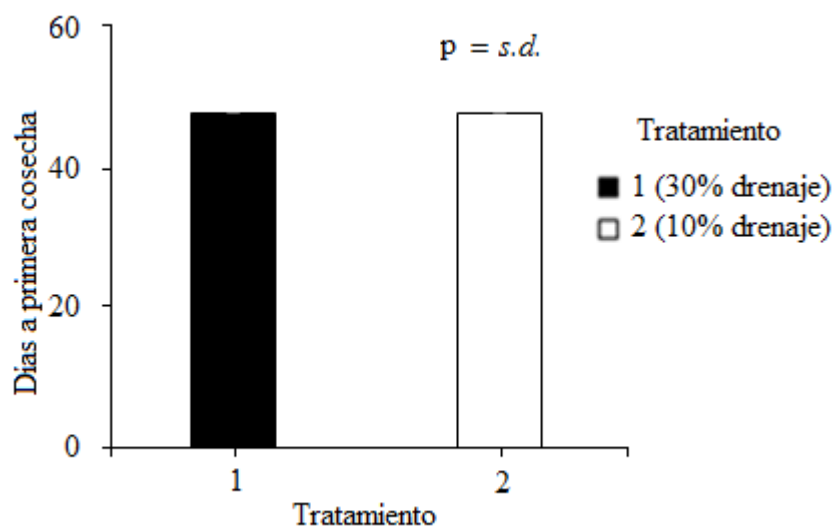


Figura 14. Promedio de la variable de días a primera cosecha de plantas de pepino según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de T, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).

Rendimiento productivo por área

El rendimiento del cultivo de pepino por metro cuadrado, para el tratamiento 1 fue de $7,76\text{kg/m}^2$, mientras que para el tratamiento 2 fue de $7,09\text{kg/m}^2$ cuya diferencia fue de $0,67\text{kg/m}^2$ entre tratamientos ($p=0,1024$) (Figura 15). No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

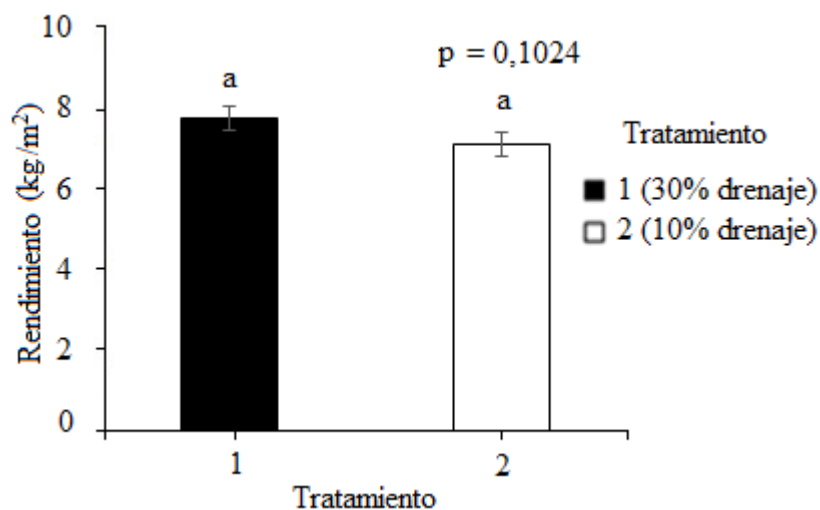


Figura 15. Rendimiento productivo (\pm DE) por área en kilogramos por metro cuadrado de las plantas de pepino según tratamiento. FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).

Número de frutos por planta, peso promedio del fruto y contenido de sólidos solubles

Las tres variables de calidad y rendimiento de los frutos de pepino no presentaron diferencias significativas entre las medias entre tratamientos de fertirriego (Figura 16).

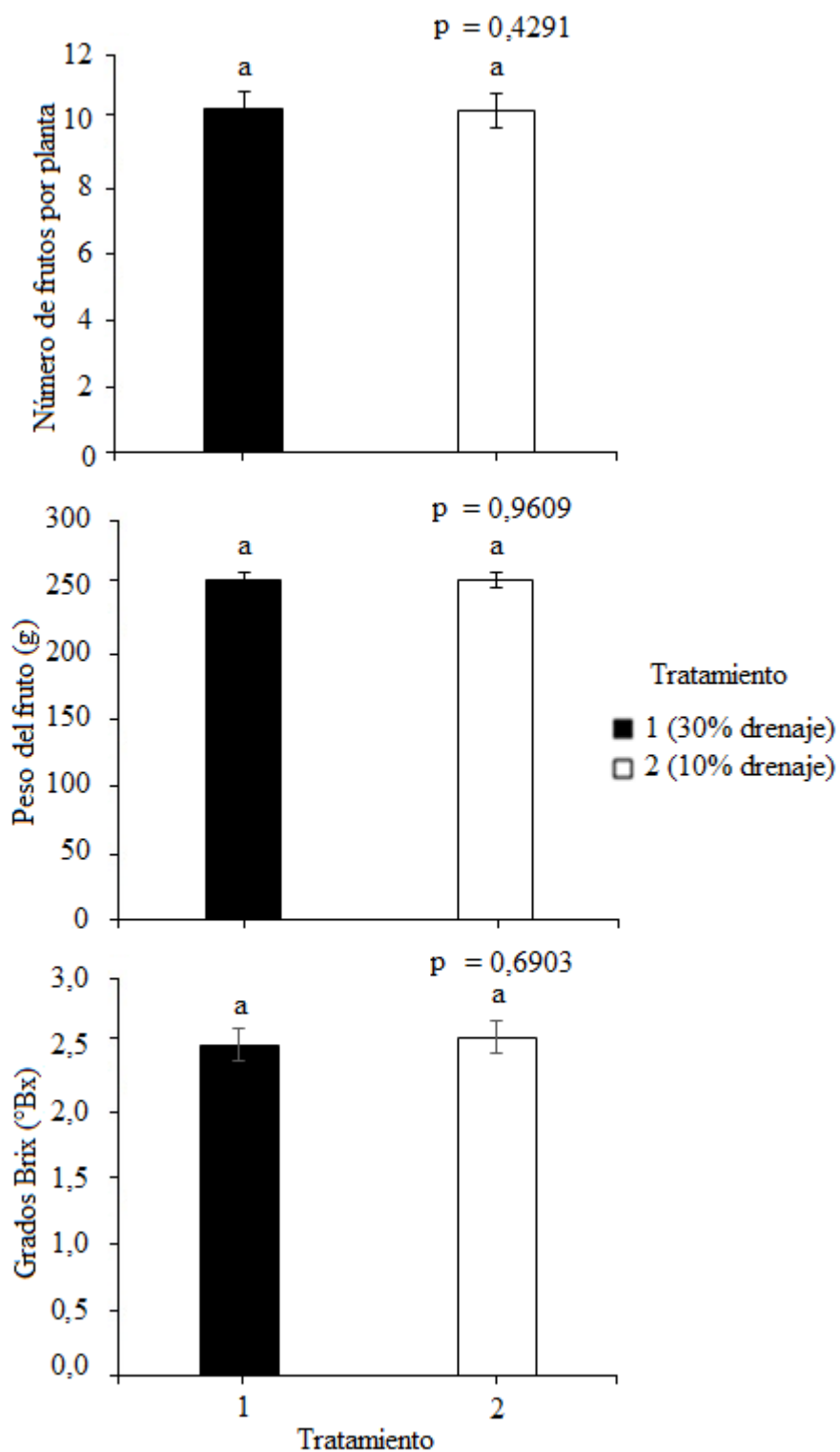


Figura 16. Promedio (\pm DE) de frutos por planta, peso promedio de frutos y grados brix, en el cultivo de pepino según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de *T*, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).

Distribución de frutos cosechados según calidad comercial

En todas las categorías, no existieron diferencias significativas entre tratamientos. Por otra parte, en el tratamiento 1 el porcentaje de rechazo fue de 5,05% y en el tratamiento 2, fue de 3,37% (Figura 17).

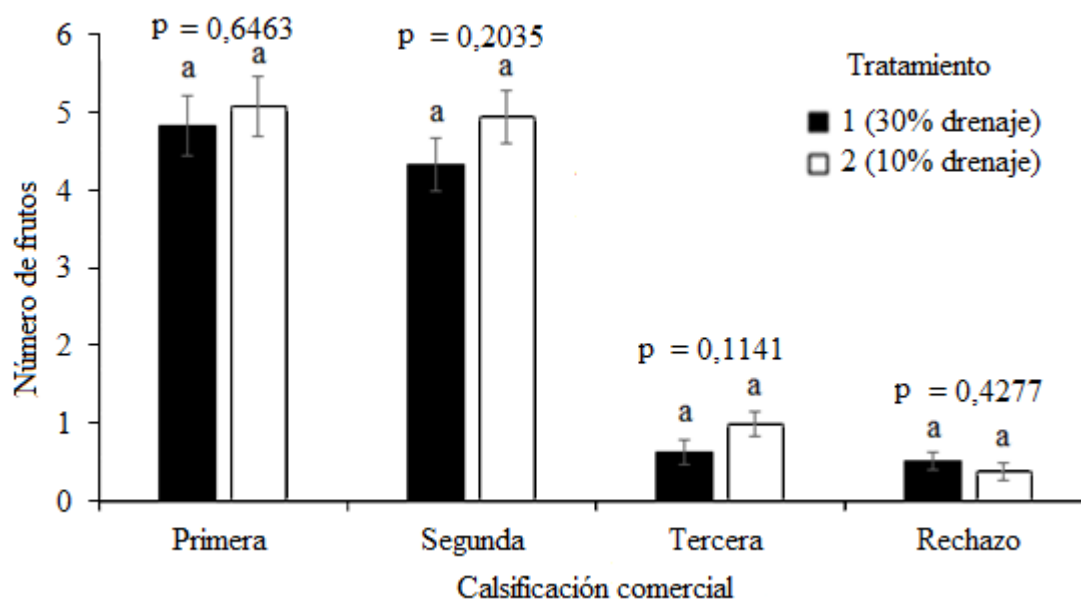


Figura 17. Distribución (\pm DE) del número total de frutos según clasificación comercial y tratamiento para el cultivo de pepino. FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).

Variables fisiológicas

Tasa fotosintética, conductancia estomática, transpiración y eficiencia en el uso del agua

No se encontró diferencias significativas en $A_{\text{máx}}$ en las plantas del tratamiento 2, mientras que esta variable fue significativamente mayor en la etapa reproductiva de las plantas del tratamiento 1 ($p=0,0612$). Además, no existieron diferencias significativas entre la misma etapa fenológica entre tratamientos ($p=0,7627$), (Figura 18).

Para la variable conductancia estomática, no se hallaron diferencias significativas entre tratamientos según etapa fenológicas ($p=0,1745$). Al analizar cada etapas fenológicas entre tratamientos tampoco existieron diferencias significativas ($p=0,2605$), (Figura 18).

En la variable transpiración, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos según su etapa fenológicas ($p=0,6463$). De la misma manera, analizando las etapas fenológicas entre tratamientos tampoco existieron diferencias significativas ($p=0,2605$), (Figura 18).

Por último, sobre la EUA, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos según etapas fenológicas ($p=0,1718$). De igual forma no existieron diferencias significativas de las etapas fenológicas entre tratamientos ($p=0,1009$), (Figura 18).

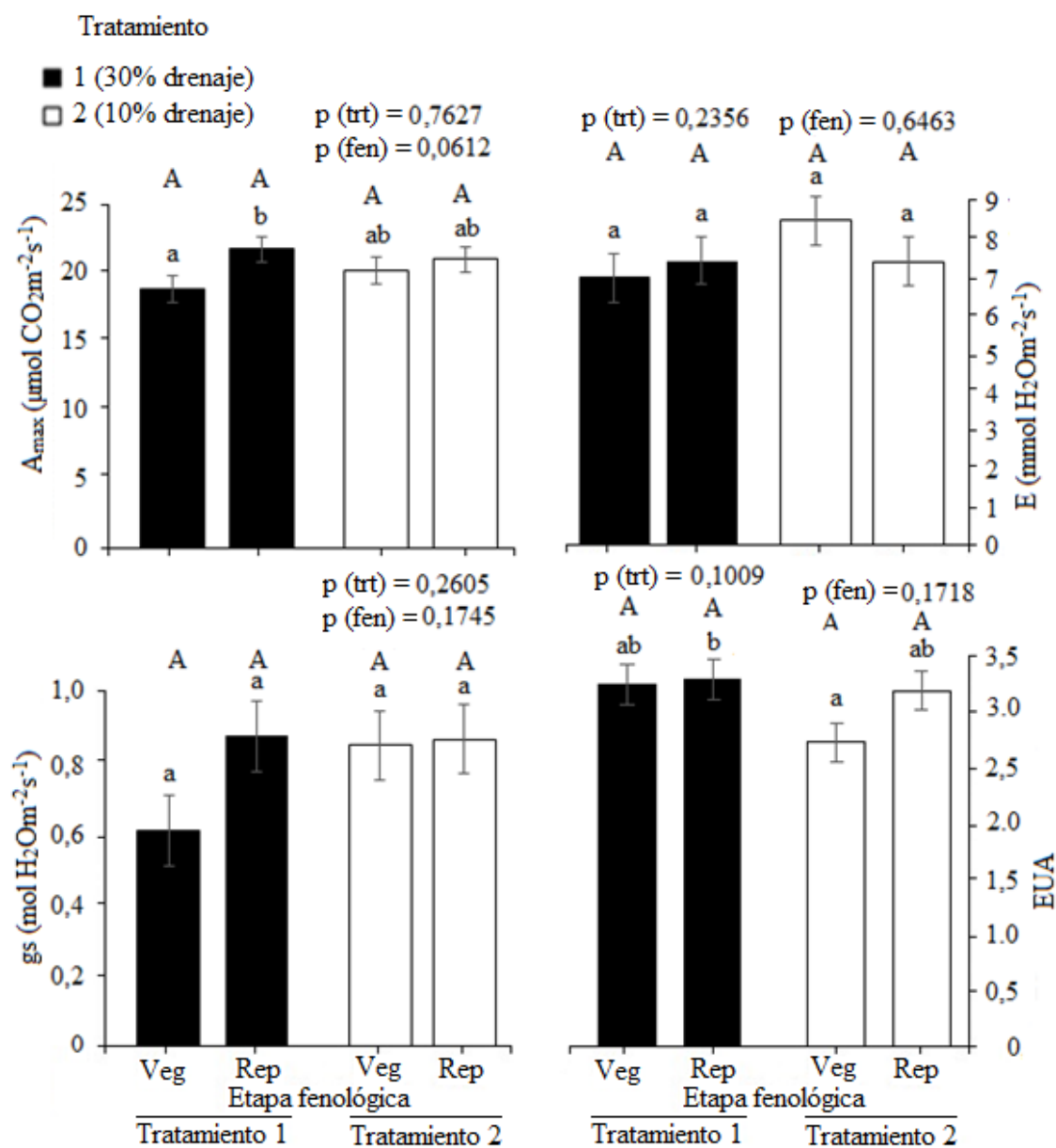


Figura 18. Promedio (\pm DE) de A_{max} expresada en $\mu\text{moles CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, g_s en $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, E en $\text{mm H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y EUA en el cultivo de pepino según tratamiento (1 y 2) y etapa fenológica vegetativa (Veg) y Reproductiva (Rep). Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p < 0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).

Fluorescencia

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,6977$), (Figura 19).

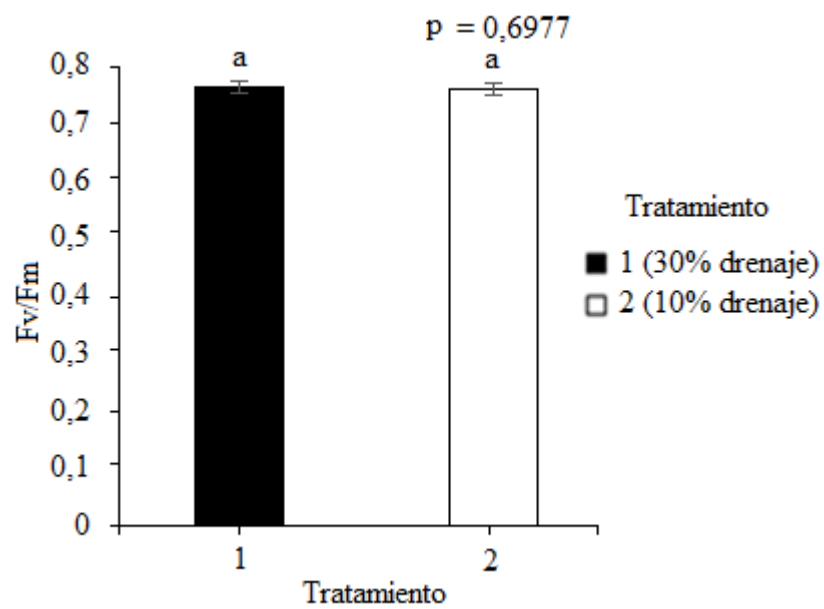


Figura 19. Promedio (\pm DE) de la fluorescencia en el cultivo de pepino, según tratamiento. Medias de los tratamientos con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de t, $p<0,05$). FESL (De setiembre 2015 a enero 2016).

DISCUSIÓN

Capsicum annuum L.

Variables morfológicas

Diámetro del tallo (mm)

Los datos encontrados en esta investigación en relación a esta variable (tratamiento 1 12,42mm y tratamiento 2 12,34mm) son similares a los datos determinados por González (2011) en una producción de chile en ambiente protegido en México. Esta información es concordante con los reportes de Pérez *et al.* (2008) y May, Pérez, Ruiz, Ic y García (2011) los cuales afirman que las plantas con menor suministro de riego tienden a tener diámetros de tallos menores.

Por otro lado, Campos (2009) encontró en plantas de la variedad Nathalie en un estudio en San Carlos (Costa Rica) que los valores promedios de 20,1mm en el diámetro de tallos y en plantas a capacidad de campo (30% drenaje) a la misma edad que las plantas de este experimento; la diferencia con respecto a los datos encontrados en esta investigación puede estar relacionada a las diferentes condiciones ambientales en que los experimentos se realizaron. Según este autor, la temperatura promedio de su experimento varió entre los 28 y 29°C con un rango de temperatura máxima entre 35 y 40°C, además de un promedio de 64% de la humedad relativa, las cuales son evidentemente mayores que las del presente estudio. Es posible que esta diferencia en las temperaturas de este estudio, permitieron un mayor grosor de las plantas de la misma variedad en tratamientos muy similares.

Altura de la planta

Según Monge-Pérez (2016), la altura de una planta de chile dulce puede variar entre 49,31 y 223,5cm. En el presente estudio los valores de esta variable (2,00m tratamiento 1, 1,85m tratamiento 2), son mayores a los encontrados por Campos (2009) en su caracterización de la variedad Nathalie donde alcanzó 1,55m de altura en edades similares, pero con diferente forma de manejo.

En un experimento realizado por Rojas y Paniagua (2015) durante la época lluviosa en el mismo invernadero de Campos (2009), obtuvieron datos similares a los de este experimento, estos autores reportan una altura de las plantas de 2,27m un mes posterior en comparación a la toma de datos de este experimento, esto nos indica que las plantas de chile dulce presentan un comportamiento morfológico heterogéneo según la época del año en que se siembre el cultivo.

Quesada (2015), realizó un estudio en la variedad FBM-9 de chile dulce con tratamientos de diferentes niveles de suministro hídrico, encontrando de igual forma diferencias en la altura de la planta ($p < 0,0001$).

En concordancia con los resultados de este estudio, en un experimento realizado por Quintal *et al.* (2012) en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) sometido a tensión hídrica se disminuyó la altura de planta, estos resultados en ambas investigaciones nos indican lo descrito por Hsiao (1973) que menciona que el déficit de agua restringe el crecimiento celular, lo que se traduce en menor expansión foliar y crecimiento del tallo.

La respuesta de esta variable en el tratamiento de menor suministro de riego fue descrita por Florido y Bao (2014), los cuales afirman que hay un efecto negativo en la morfología de la planta, medible a través de la altura, este experimento coincide con esta teoría ya que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, registrándose menor tamaño en las plantas bajo menor suministro de riego.

En este punto, sería interesante evaluar con más detalle esta alta variación en la morfología gruesa de las plantas de chile en ambientes protegidos, dada la consistencia de las tendencias encontradas cuando se compara con otros estudios en otras regiones del país y la estrecha relación entre demanda hídrica y desarrollo de las plantas.

Variables de rendimiento y calidad

Días a primera cosecha

En las condiciones del presente estudio se encontró, que las plantas del Chile fueron más precoces (90,57 a días tratamiento 1 y 89,20 días en tratamiento 2), en relación a los datos reportados a los 100 días por Linares (2004), Casilimas *et al.* (2012), Porres, Cifuentes y de León (2014), y muy similares a los reportados por Moreno (2015) y Syngenta (2016) a los 91 y 90 días después de la siembra, respectivamente.

Las diferencias significativas encontradas entre los tratamientos para este experimento evidencian como el déficit hídrico puede ejercer un efecto directo de precocidad para las plantas estresadas, ya que la disminución de la altura de las plantas permite la distribución eficiente de asimilados en órganos, generando así mayor precocidad en la cosecha para estas plantas. Esta teoría es apoyada por Gliessman-Stephen (2002) y Waller (2004) que afirman que una planta bajo condiciones de menor suministro hídrico requerido se estimula y más rápidamente ingresa en su fase reproductiva, que obliga tempranamente la floración, fructificación y formación de semillas.

Rendimiento por metro cuadrado

Un estudio a campo abierto de Sánchez, Jaraba, Medina, Martínez y Martínez (2003), de una variedad de *Capsicum annuum* L. utilizando dos tratamientos de riego (1,32, 2,64 litros/día), no obtuvo diferencias significativas en su rendimiento. Estos resultados coinciden con los datos de este estudio, ya que en este experimento los rendimientos entre tratamientos no obtuvieron diferencias significativas.

Resultados similares al de este estudio los obtuvo Calatayud *et al.* (2015) quien, en un experimento bajo diferentes abastecimientos hídricos e injertos, en un macrotúnel-invernadero, determinaron que en la variedad Adige sobre el portainjertos A25 y con drenajes de 30% y 19,8% no se obtuvieron diferencias significativas (6,2 y 5,2 kg/m²).

En otro estudio a campo abierto realizado por Padrón, Ramírez, Swarowsky, y Daboín (2014), donde utilizaron tres tratamientos (30%, 24% y al 18% de drenaje), no obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento (5,03, 4,67 y 4,71kg/m²). A la vez en un estudio realizado por Figueroa *et al.* (2012) utilizando la variedad Autlan y bajo dos regímenes de drenajes (24% y 18%) tampoco encontraron diferencias (35,2 y 35,9T/ha), todos estos estudios coincidiendo con los resultados de esta investigación que obtuvo diferencias no significativas en el rendimiento según tratamiento.

Bajo ambiente protegido a nivel nacional, Loáciga (2016) no encontró diferencias significativas en el rendimiento por metro cuadrado entre tratamientos (11,48kg/m² trt 30%, 11,55kg.m² trt 10%).

Estos resultados concuerdan con lo descrito por Hernández (2014) quien afirma que la adaptación ante un menor suministro hídrico en las plantas se realiza a través de la generación de metabolitos que se producen en la raíz, se distribuyen al vástago y que contribuyen a la resistencia frente a menor suministro de agua. Esta respuestas se genera a través del cierre de estomas, la reducción del crecimiento morfológico por la producción de etileno, la estabilidad osmótica por medio del aumento en los niveles de prolina, así como la activación de genes de resistencia, lo que indica grades ajustes fisiológicos de la planta que resultan en la ausencia de diferencias significativas de esta variable.

Cuando se comparó los rendimientos obtenidos en esta investigación con los rendimientos nacionales en ambientes protegidos se encontró que no hay diferencias en los mismos (Rojas y Paniagua, 2015). A pesar que estos rendimientos nacionales fueron obtenidos bajo condiciones ambientales más favorables que en este estudio, es importante mencionar que tanto estos autores como Moreno-Pérez *et al.* (2011) indican que el nivel tecnológico que provee el ambiente protegido es en última instancia el que define el rendimiento.

Peso promedio del fruto

En un estudio realizado por Herrera (2016) a campo abierto utilizando cuatro niveles de abastecimiento hídrico en riego por goteo (100, 80, 60 y 40% de la ETo), encontró diferencias significativas en el peso promedio de los frutos (132,93a, 128,24a, 121,28b y 112,0a gramos respectivamente), siendo estos datos similares a los encontrados en esta investigación donde el tratamiento con mayor suministro de agua (tratamiento 1) tuvo los frutos más pesados.

Autores como Smittle, Dickens y Stansell (1994), Dalla Costa y Gianquinto (2002), Sezen, Yazar, y Eker (2006), expresan que la reducción del rendimiento en el cultivo de pimentón por efecto del déficit hídrico está ligada a la disminución del peso de los frutos. Si bien es cierto esta investigación concuerda con esta afirmación, también es cierto que no se encontró diferencias en el rendimiento, lo que podría deberse a los mecanismos de adaptación descritos por Florido y Bao (2014).

Según Peil y Galvez (2005) la tolerancia de las plantas ante un menor suministro hídrico lo hace a través de la prolificidad del material en compensación con el menor peso de la fruta, ó de forma inversa el material, pese a tener menor cantidad de frutos, alcanza un rendimiento importante dado el peso de los frutos, lo que se da básicamente por la relación fuente-sumidero, donde los frutos son el sumidero principal, y la forma como se distribuyen los fotoasimilados.

Número de frutos por planta

En un estudio realizado por Padrón, Ramírez, Swarowsky, y Daboín (2014), no se encontraron diferencias significativas en el número de frutos (12, 11 y 11) entre los tratamientos a distinto nivel de lámina de agua (30, 24 y 18% drenaje), siendo consistente con este estudio cuando de igual forma la disminución de la lámina de agua no afectó esta variable.

Serna, Artemio y Mena (2011), en un análisis realizado a campo abierto utilizando la variedad “Mirasol” de Chile con tres abastecimientos hídricos (100% de RC (riego comercial), 50% del RC + RPR (riego parcial de la raíz) y 20% RC+RPR), no encontraron diferencias significativas en el número de frutos por planta en cada tratamiento para dos distintos periodos (En el periodo 2008 con 56ab, 51b y 61a ($p < 0,05$), e igual para el periodo 2009 con 38a, 35a y 37a frutos por planta ($p < 0,05$)).

Por otra parte, Quesada (2015), no encontró diferencias significativas en esta variable cuando utilizó tratamientos a capacidad de campo (CC), un déficit de 15 % (CC – 15%), y un déficit de 30 % (CC – 30 %), para la variedad Villaplants Americano, coincidiendo con los resultados de esta investigación.

Estos resultados pueden estar explicados por la teoría descrita por Quesada (2015), Peil y Gálvez (2005) quienes describen que, los mecanismos de estrategia de defensa de la planta ante una condición adversa como el menor suministro hídrico, es aumentar el número de frutos para tratar de garantizarse mayor producción de semilla y eventualmente una mayor supervivencia. Esto en el caso de este trabajo, esto sucedió, ya que los tratamientos con menor suministro hídrico presentaron mayor número de frutos, aunque no existieran diferencias estadísticas entre los tratamientos.

La calidad de los frutos expresada en el número de frutos por planta, se correlaciona con el peso promedio del fruto (Campos, 2009; Rojas y Paniagua, 2015; Nogueira, da Silva, Gomes, López y Guerra, 2004; Tituaña, 2013), en este sentido los resultados obtenidos para estas variables responden a la teoría que el menor suministro hídrico afecta la calidad del rendimiento productivo comprendiendo esta calidad expresada como peso promedio de los frutos y número promedio de frutos.

Clasificación comercial

En una investigación realizada por Serna y Zegbe (2012) utilizando seis abastecimientos de láminas de agua (30,0; 27,6; 24,2; 23,1 y 21% del drenaje) y donde

clasificaron los frutos en cuatro categorías (Primera, Segunda, Tercera y Rechazo) encontraron diferencias significativas entre tratamientos a la hora de clasificar los frutos. Estos resultados coinciden con los encontrados en esta investigación donde las categorías primera, segunda y tercera fueron diferentes entre tratamientos y a la vez concuerdan con este estudio cuando la cantidad de frutos clasificados como rechazo no tuvo diferencias entre tratamientos.

En condiciones bajo ambiente protegido, utilizando tratamientos de distintas láminas de riego capacidad de campo (CC), un déficit de 15 % (CC – 15%), y un déficit de 30 % (CC – 30 %), en un experimento realizado en la EEAFBM, Quesada (2015) determinó la misma diferencia entre tratamientos para las categorías de primera y segunda. Además, no encontró diferencias para la clasificación de rechazo.

Bajo ambiente protegido a nivel nacional, Loáciga (2016) de forma congruente con nuestro estudio y nuestros tratamientos, no registró diferencias significativas para las categorías especial y rechazo, también de misma manera que nuestro estudio encontró diferencias en la categoría tercera entre tratamientos.

Según Sezen *et al.* (2006) la reducción de la calidad del fruto en un cultivo bajo menor suministro hídrico responde a un nivel deficiente de humedad en el sustrato.

Además, Quesada (2015) menciona que el fruto es un órgano altamente demandante de agua y cuando se presenta un menor suministro hídrico con frecuencia aparecen problemas como deformaciones, lesiones en la pared del fruto por deshidratación y pudrición apical. Esta investigación concuerda con esta teoría ya que se encontraron diferencias en los tratamientos y en las categorías primera, segunda y tercera.

Variables fisiológicas

Contenido de sólidos solubles

Bautista (2010), en un estudio donde evaluó cinco tratamientos de diferente potencial osmótico (-0,036MPa, -0,054MPa, -0,072MPa, -0,09MPa y -0,108MPa) encontró una tendencia al aumento de los grados brix cuando existe una mayor presión osmótica, estos datos concuerdan con los encontrados en esta investigación ya que los grados brix fueron mayores cuando el suministro de riego fue menor.

Resultados similares encontraron Chamú, López, Ramírez, Trejo y Martínez, (2011), en un ambiente protegido utilizando la variedad Cannon F1 y utilizando tratamientos 20% y 70% de suministro de agua encontraron que el tratamiento de menor riego presentó frutos con mayores porcentajes de brix, resultados similares son reportados por Stikic *et al.* (2003) y López *et al.* (2008) en tomate, por Goldhamer *et al.* (2002) en durazno, y por Zegbe, Behboudian, Lang y Clothier (2007) en manzano.

Estos resultados son explicados por la teoría de Gámez (1989), el cual atribuye esos resultados, a que la planta de chile dulce, debido a la morfología del sistema radicular es muy exigente a la humedad del suelo. Y un exceso de humedad tiende a la reducción del contenido de sólidos solubles, lo cual explicaría los resultados de este trabajo, donde a menor agua suministrada mayor porcentaje de grados brix en los frutos. Esto también se puede explicar por lo descrito por Turner y Jones (1980) los cuales señalan que el efecto del menor suministro hídrico sobre el contenido de sólidos solubles se relaciona con un incremento en el contenido de carbohidratos para mantener las funciones fisiológicas a través de un ajuste osmótico.

Tasa fotosintética

En un estudio bajo ambiente protegido realizado por Campos (2009) utilizando la variedad de chile Cannon F1 y donde evaluó esta variable utilizando dos suministros de agua (-0,19MPa testigo y -1,1MPa estresado), no encontró diferencias significativas en

$A_{m\acute{a}x}$. Estos resultados son coincidentes con los de este estudio, ya que en el presente estudio tampoco se encontraron diferencias entre los tratamientos utilizados independientemente de la fase fenológica estudiada.

Por otra parte, una investigación realizada por Gálvez y López (2014), bajo invernadero utilizando la variedad Herminio injertada en patrones de Atlante, Creonte y Terrano, utilizando dos regímenes de riego (100% ETo y 50% ETo) sí encontraron diferencias significativas entre tratamientos. En todos los casos el menor régimen de riego obtuvo el menor valor de $A_{m\acute{a}x}$, esto concuerda con lo encontrado en esta investigación, que aunque no se encontraron diferencias sin embargo, el menor suministro de agua según tratamiento siempre tuvo la menor tasa fotosintética independientemente de la fase fenológica estudiada.

Según Kulkarni y Phalke (2009) en sequía u otro estrés abiótico hay una reducción importante en la $A_{m\acute{a}x}$ y junto a esto, una reducción en el monto de metabolitos y energía, que se explica a través del cierre estomático, esta es una respuesta de evitación de la sequía que permite el mantenimiento del contenido de agua de las hojas (Ludlow, 1980), el cual conlleva una disminución de la concentración interna de CO_2 , que limita la fotosíntesis. Esta también se explica a través de la teoría expuesta por Dietz y Sunkar (2010) quienes citan que, durante la deshidratación, como consecuencia del menor suministro hídrico, se produce un incremento de las ERO, en su mayoría en los cloroplastos y su efecto consiste en inhibir la reparación del daño al PSII y la síntesis de la proteína D1, en consecuencia, la sequía induce disminución de la actividad fotosintética estomática y no estomática e incremento en la actividad de las enzimas antioxidativas SOD, CAT, APX, GR, además del MDA, que contribuyen a la supervivencia bajo condiciones de sequía (Pompelli *et al.*, 2010).

El presente estudio, así como los resultados encontrados por Campos (2009), Gálvez y López (2014), coinciden con la disminución de esta variable ante la exposición de un déficit hídrico, a través de los mecanismos fisiológicos descritos por Florido y Bao (2014), los cuales se relacionan con las teorías expuestas por Saibo, Lourenco, y Oliveira (2009)

que se orientan a una serie de procesos fisiológicos afectados por la disminución en la asimilación de CO₂ de la atmósfera al sitio de carboxilación, lo que conlleva a una reducción en la síntesis de ATP y el estado reductor, así como la eficiencia del proceso del ciclo de Calvin debido a la reducción y actividad del carbono fotosintético que incluye a RuBisCO, FBPase y PDK (Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita, y Basra, 2009; Pinheiro y Chaves, 2012; Flexas *et al.*, 2012; Lovisolo *et al.*, 2010; Galmés, Ribas-Carbó, Medrano, y Flexas, 2010).

Escalante, Trejo, Esquivel, Arreola y Flores (2008), realizaron un estudio de las tasas fotosintéticas del chile dulce y otras ocho plantas a lo largo de su fase fenológica; obtuvo una disminución de la tasa fotosintética conforme las mediciones se acercaban a la fase reproductiva, estos resultados son coincidentes con este estudio, cuando se encontraron diferencias significativas en esta variable según la fase fenológica. Estos resultados se puede explicar mediante la teoría expuesta por González-Real, Liub y Baille (2009) los cuales expresan que ante la demanda de los frutos en desarrollo los compuestos nitrogenados se movilizan desde las hojas aledañas, lo cual reduce la fotosíntesis, también Decoteau (1990) indica que a medida que la planta crece y sombrea su entorno ocasionando que la radiación reflejada disminuye, esto quiere decir que a medida que la planta crece la fotosíntesis va a ser menor porque va a existir una menor radiación reflejada a su alrededor, con concordancia Leopold (1980) cita que el sombreado en las hojas acelera el proceso de senescencia de las mismas y por tanto su falta de funcionalidad, dicho proceso está relacionado con la disminución en la capacidad de asimilación de CO₂. Esto puede ocurrir porque durante la etapa vegetativa de las plantas, la demanda de dióxido de carbono es mayor para la generación de hormonas de crecimiento como citoquininas y ácido indolacético, así como carbohidratos para la producción de biomasa y estructuras de almacenamiento para la preparación de la etapa reproductiva, que para esta etapa como lo menciona Lelièvre, Latchè, Jones, Bouzayen y Pech (1997), más bien demanda la generación de etileno lo que se esperaría un considerable menor requerimiento de fotoasimilados, y el efecto restringente en la fotosíntesis cuando esta hormona genera la senescencia de algunas hojas.

Por otro lado, Jaimez *et al.* (2005), caracterizó las condiciones microclimáticas de tres variedades de chile dulce (Commandant, Mandarin y Porto) comparando dos niveles de RFA ($1500\mu\text{mol m}^{-2}$ y $1000\mu\text{mol m}^{-2}$ PPF), encontrando una disminución de $A_{\text{máx}}$ conforme disminuyó la radiación ($26\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $19,5\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), estos resultados son coherentes con este estudio cuando la RFA, fue hasta cuatro veces mayor en la fase vegetativa respecto a la reproductiva coincidiendo una mayor tasa en la etapa vegetativa, estos resultados son concordantes con los presentados por Jaimez *et al.* (2005) y Escalante *et al.* (2008) cuando existió una reducción de las tasas fotosintéticas conforme la radiación solar disminuyó con el tiempo. Estos resultados son apoyados con la teoría expuesta por Escalante *et al.* (2008) los cuales manifiestan que, probablemente tenga que ver con un proceso de adaptación en el cual esta planta ha competido por la radiación con otras plantas, particularmente las plantas cultivadas, ya que su aparato fotosintético este equipado con mecanismos que disminuyan la foto-oxidación cuando la RFA es muy alta.

Conductancia estomática

En un estudio realizado por Hernández (2014) donde utilizó dos tratamientos, uno de 40% de drenaje y otro de 20% en el cultivo del chile dulce, no encontró diferencias en esta variable. A la vez Serna *et al.* (2011), tampoco encontraron diferencias significativas para esta variable cuando utilizo tres tratamientos de suministro de agua (100% Riego comercial, 50% de riego deficitario y 20% de riego deficitario), estos datos concuerdan con los encontrados en esta investigación donde sin importar el suministro de agua no se encontró diferencias entre tratamientos.

Estos resultados podrían ser explicados por la teoría de During, Loveys y Dry (1997), Loveys, Dry, Stoll y McCarthy (2000), Davies, Wilkinson y Loveys (2002) y citada por Hernández (2014) quienes consideran que el cierre parcial de las estomas es debido a la generación de compuestos químicos en la raíz que se generan ante un déficit hídrico y son transportados a través del sistema vascular para regular la apertura estomática y el crecimiento. Además, este autor señala las diferencias significativas de prolina con mayor concentración en las plantas más estresadas, además cita a Lutts, Majerus y Kinet (1999)

quienes mencionan que la prolina es un metabolito involucrado en la resistencia al menor suministro, por lo que se acumula con mayor frecuencia en las plantas que se encuentran en condiciones de menor suministro de agua y salinidad. Otras sustancias responsables por la estabilidad osmótica y comportamiento estomático reportados por Hernández (2014) son las hormonas citoquininas, las enzimas antioxidantes, inhibidores foliares (etileno) y el ABA que al igual que la prolina estas se encuentran en mayor proporción en tratamientos bajo menor suministro hídrico, que posiblemente se puedan encontrar en el tratamiento estresado si estas se hubiesen evaluado en el presente estudio.

Hernández (2014) al igual que Escalante *et al.* (2008), también encontraron una disminución importante de esta variable cuando realizaron mediciones dentro de los tratamientos y según su fase fenológica, estos datos concuerdan con los resultados de este estudio, ya que independientemente del tratamiento siempre la etapa reproductiva presentó una menor conductancia estomática, Escalante *et al.* (2008) expresan que esto fue debido a que las plantas ya estaban maduras, esto se refiere a que la plantas ya no requieren crecer como objetivo principal, sino más bien se dirigen hacia la floración y el llenado de frutos que demanda menos carbohidratos en su generación, para explicar la reducción de conductancia estomática, se sabe que la biomasa producida en frutos es hasta un 30% del total de biomasa (Garraña-Hernández, Orellana, Larque-Saavedra, y Canto, 2014) y además la etapa reproductiva representó la mitad del ciclo del cultivo, por lo tanto justificaría su menor demanda de fotoasimilados. Anguiano (2010), en un estudio fisiológico de este cultivo menciona a Ibarra, Quezada y Munguía (2004) quienes 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, lo que está relacionado por lo citado por Pearcy *et al.*, (2000) quienes describen que las moléculas de CO₂ siguen la misma ruta, pero con una dirección inversa, marcando la condición de simultaneidad del proceso de fotosíntesis y transpiración, por lo tanto una reducción de la fotosíntesis, conlleva a una disminución de la transpiración.

Transpiración

Serna *et al.* (2011), en un estudio bajo invernadero y estudiando plantas de chile dulce utilizó tres tratamientos de abastecimiento hídrico (un tratamiento con el riego comercial y drenajes al 50% y 20%), estos autores no encontraron diferencias significativas entre tratamientos para esta variable, estos resultados concuerdan con este estudio donde no existieron diferencias entre tratamientos, sin embargo Pérez *et al.* (2008), en este mismo cultivo y utilizando cinco tratamientos de abastecimiento hídrico (60%, 80%, 100%, y uno gradual de 60-80-100% de la ETo), reportaron tasas de 4 a 22 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ a lo largo de su experimento, encontró que en los tratamientos de menor ETo se obtuvieron los índices más bajos para esta variable.

Los resultados obtenidos por Serna *et al.* (2011), junto a Pérez *et al.* (2008) y este estudio, concuerdan en una reducción de la transpiración en los tratamientos que se encontraron por debajo del suministro de agua a capacidad de campo. Medrano *et al.* (2002) y Cifre, Bota, Escalona, Medrano, y Flexas (2005) explican que para evitar la deshidratación, la planta ante un déficit hídrico recurre al recubrimiento de las hojas con una cutícula de sustancias lipídicas sobre la epidermis con propiedades poco permeables, además al control de la apertura de los estomas, que en buena parte obedece a la disponibilidad de agua en las raíces, y de esta forma la planta ajusta su gasto a la disponibilidad hídrica, reduciendo fuertemente (hasta a la décima parte) el agua transpirada, siendo congruente con la disminución de la tasa de transpiración en los tratamientos bajo menor suministro hídrico en estos experimentos.

Escalante *et al.* (2008), de igual forma encontraron una tendencia a la disminución en los muestreos realizados, estos autores mencionan la relación directa de la transpiración con la fotosíntesis.

Roblero (2007) en un estudio ecofisiológico del chile dulce bajo ambiente protegido determinó que la transpiración fue mayor en la fase vegetativa que en la fase reproductiva, estos resultados son similares a los encontrados en esta investigación sin embargo es

importante tomar en cuenta lo manifestado por Roblero (2007) el cual manifiesta que la calidad y la cantidad de la luz puede afectar la transpiración ya que afecta el vapor de agua en la transpiración, el consumo de CO₂ y el transporte de nutrientes. En este caso siempre la fase vegetativa tuvo mayor y mejor luz lo cual coincide con lo descrito por Roblero (2007) y nos permite entender el porqué del comportamiento de esta variable.

Eficiencia en el Uso del Agua (EUA)

Serna y Zedge (2012), utilizando cinco tratamientos con diferente drenaje (30,0; 27,6; 24,2; 23,1 y 21% del drenaje) para tres periodos de investigación (2008, 2009 y 2010), encontraron la mayor EUA para el tratamiento de menor drenaje para los tres periodos sin existir diferencias estadísticas.

Hernández (2014), cita que la EUA de tres abastecimientos de riego, expresada en kilogramos de biomasa de frutos por m³ absorbidos de agua (11,52kg m³, 17,17 kg m³ y 16,05 kg m³ respectivamente), fue más elevada para los tratamientos estresados que para el tratamiento testigo. Chamú *et al.* (2011), determinó la eficiencia del uso del agua en términos de materia fresca y seca del fruto total por planta y el agua evotranspirada para producirla, no encontrando así diferencias significativas entre tres tratamientos de diferente tensión hídrica (-0,74MPa, -0,89MPa y -0,90MPa), Chamú *et al.* (2011), también mencionan resultados equivalentes encontrados por Einhorn y Caspari (2004), Leib, Caspari, Redulla, Andrews y Jabro (2006) en manzano, Kang, Hu, Goodwin, y Jerie (2002) para pera, Grant, Stoll, y Jones (2004) en frambuesa, Topcu *et al.* (2007) y López-Ordaz *et al.* (2011) en tomate y Kirda *et al.* (2007) en algodón. Ahmed, Xueyong, Yang y Jiang (2014), de igual forma no encontraron diferencias significativas para esta variable para cuatro tratamientos de suministro de agua (100, 80, 70 y 50%) con una tendencia al aumento para los tratamientos más estresados.

Todos estos resultados son similares a los encontrados en esta investigación ya que no hubo diferencias significativas entre tratamientos, pero siempre el tratamiento de menor suministro de agua presentó un uso más eficiente del agua, generando así mayor cantidad

de biomasa por unidad de agua utilizada, que es proporcional al rendimiento productivo. Según Davies *et al.* (2002), la EUA es un reflejo de la optimización del sistema, el comportamiento estomático, el estado hídrico del vástago y el crecimiento foliar, por lo tanto podemos afirmar que existió un estado fisiológico adecuado de las plantas aun con un suministro de agua menor. A la vez Ismail (2010) explica esta similitud entre tratamientos indicando que el movimiento del agua hacia el fruto puede haber disminuido con el desarrollo progresivo del déficit hídrico sin afectar la translocación de la materia seca en el fruto, este resultado condujo a un aumento en la producción en masa por unidad de agua, lo que llevó a un aumento en la eficiencia del uso del agua de riego. Así mismo se puede decir que el sistema es optimizado en términos económicos ya que se logra producir de igual forma con menor cantidad de agua.

Fluorescencia

El rango de los valores alcanzados (0,73a F_v/F_m para el tratamiento 1 y 0,72a F_v/F_m para el tratamiento 2), se encuentra dentro del nivel óptimo de funcionamiento del fotosistema II cercanos al 0,8 (Anderson *et al.* 1997). Sin embargo, Zare, Peywast, Ghasemnezha y Forghani, (2015) reporta rangos de F_v/F_m entre 0,73-0,65, para 26 híbridos de pimiento en diversas partes de Irán, lo cual podría inducir a pensar que algunos de estos híbridos sí tienen efectos incipientes en la eficiencia fotosintética del uso de la luz y la eficiencia del PSII (Baker y Rosenqvist, 2004).

Existe mucha evidencia de que el menor suministro hídrico no produce reducciones en los eventos primarios de la fotosíntesis, es decir, la eficiencia de PSII (Genty, Briantais y da Silva 1987; Cornic, Le Gouallec, Briantais, y Hodges, 1989) Esto quiere decir que el riego moderado, ayudó a mantener una alta eficiencia de PSII y evitó la fotoinhibición (Flexas, Escalona y Medrano, 1998) los resultados de este estudio coinciden con estos planteamientos, cuando el nivel de fluorescencia para ambos tratamientos fue cercano a 0,8 F_v/F_m , además la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0,05$), permite rectificar lo encontrado en la variable fisiológica EUA, al observar cómo a través

de estas mediciones fisiológicas el tratamiento 2 (bajo menor suministro hídrico), llegó al mismo nivel que el tratamiento 1.

Los resultados de las variables del intercambio de gases y la fluorescencia evidencian que el tratamiento en menor nivel de suministro de agua y drenaje, solo parece inducir un estrés de sequía incipiente más bien leve, que sí parece afectar la fisiología del intercambio de gases de las hojas. Este efecto puede ser que sea muy significativo en algunos periodos del día y un poco más agravado en la época seca.

Cucumis sativus L.

Variables morfológicas

Diámetro del tallo

Un estudio realizado en ambiente protegido por Carvalho (2009), utilizando cuatro abastecimientos de riego a distinta tensión hídrica (15, 30, 60 y 120kPa) y utilizando la variedad Master Green, encontró menores diámetros para los tratamientos de menor suministro hídrico. Por otro lado, Quiroga (2016) utilizando el híbrido Modan a los 96ddt y utilizando dos tratamientos de abastecimiento hídrico (100 y 50% riego comercial) encontró diferencias significativas para esta variable ($p \leq 0,05$), donde los mayores diámetros se encontraron en los tratamientos con mayor suministro de agua, estos resultados concuerdan con este estudio ya que se encontró un diámetro mayor de los tallos para los tratamientos con mayores suministros de riego.

A nivel nacional, para la zona de La Garita de Alajuela, bajo ambiente protegido Loáciga (2016), reporta en pepino tratamientos de dos regímenes de humedad de 10 y 30% del drenaje y dos formas de aplicación de bioestimulante, un diámetro promedio de 11,37mm para el tratamiento del 10% y 12,22mm para el tratamiento del 30%; además indica una altura de 6,17m en el tratamiento 1, y 7,94m para el tratamiento 2, con diferencias significativas.

Todos estos resultados responden de forma congruente con lo planteado por Gil, Fernández, González, Castaño e Iglesias (2003), quienes indican que el crecimiento vegetativo de un cultivo de pepino bajo invernadero puede modificarse mediante la aplicación de riegos completos y de alta frecuencia, encontrando así tallos de mayor diámetro en los suministros de mayor riego.

Altura de la planta

Ahmadi-Mirabad, Lofti y Reza (2013), utilizando tres tratamientos (100, 80 y 60% Eto) para una variedad de melón (*Cucumis melo* L.) encontraron que a mayor suministro de agua mayor altura de las plantas, a la vez Quiroga (2016) estudiando el cultivo de pepino, también obtuvo diferencias significativas entre dos tratamientos de menor suministro hídrico encontrando una mayor altura para el mayor suministro de riego. Estos resultados son similares a los encontrados en esta investigación donde el mayor suministro de agua, obtuvo plantas de mayor tamaño.

Este efecto es explicado por Rodas (2006) citado por Quiroga (2016), el cual indica que una disminución del crecimiento no es una respuesta metabólica, sino a un proceso físico por la pérdida de turgencia en las células, de modo que, disminuye el contenido hídrico de la planta y por ende el volumen de la célula, lo que tiene como consecuencia la ausencia del crecimiento celular, implicando la disminución del tamaño y número de hojas.

VARIABLES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD

Rendimiento por área

Gil *et al.* (2003), en un estudio bajo invernadero utilizando la variedad de pepino Borja y con dos tratamientos de riego, uno de baja frecuencia (-40 a -45kPa) y otro de alta frecuencia (-10 a -15kPa) obtuvieron resultados similares en este estudio para esta variable, donde la productividad no tuvo diferencias con relación al suministro de agua utilizado.

Santos (2002), tampoco encontró diferencias significativas en la productividad cuando en la fase vegetativa utilizó cuatro tratamientos de tensión hídrica (10, 25, 45 y 60kPa). Ribas, Cabello, Moreno, Moreno y López-Bellido (2000), también coincide con los resultados de este experimento cuando no encontraron diferencias significativas para el cultivo del melón (*Cucumis melo* L.) con tratamientos a diferentes láminas de agua (125, 100 y 75% de la ETo). Este autor determina que la respuesta de las variables fisiológicas, a la aplicación de dosis deficitarias de riego de forma constante y diaria produce una adaptación continua de las plantas, que ajustan la superficie foliar a la disponibilidad hídrica del suelo, provocando una disminución leve del rendimiento.

Bajo ambiente protegido a nivel nacional, Loáciga (2016) de forma congruente con nuestro estudio y nuestros tratamientos, no registró diferencias significativas (17,68 tratamiento 30%; 20,58 tratamiento 10%), con una evidencia interesante de un rendimiento superior en el rendimiento bajo estrés.

En resumen, los resultados de esta investigación en relación con estos autores es que se obtienen los mismos rendimientos en condiciones de menor suministro hídrico para el cultivo de pepino bajo ambiente protegido, esto puede estar vinculado a las características adaptativas de la familia Cucurbitaceae, ya que como diversos autores citados anteriormente comprueban el mismo comportamiento frente al menor suministro hídrico en estas variables de rendimiento, en el cultivo del melón.

Número de frutos por planta

Parra-Terraza *et al.* (2004), utilizando tres tratamientos de presión osmótica (-0,036, -0,072 y -0,108MPa) no encontraron diferencias para esta variable (6,22, 8,44, 7,11), este autor indica que estos tratamientos se encuentran dentro de un ligero grado de menor suministro hídrico el cual genera una sequía fisiológica, alterándose también el acceso y la absorción adecuada de algunos nutrientes para las plantas (Schwarz, 1985).

Santos (2002), no encontró diferencias significativas en la producción de pepino, utilizando como tratamiento, tensiones en agua de 10, 25, 45 y 60 kPa en la fase vegetativa. De igual forma, Ahmadi *et al.* (2014), no encontró diferencias en el número de frutos para el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.), para los tratamientos de 100 y 80% de la Eto, estos autores expresan que un ligero déficit hídrico no afecta esta variable.

Otro estudio realizado por Zamora, Peña y Verdecía (2014), no encontraron diferencias significativas entre tratamientos (100% y 75%), en *Cucumis sativus* var Tropical SS-5. Todos estos autores concuerdan con este estudio ya que a al igual que estos autores no se encontró diferencias entre tratamientos.

Bajo ambiente protegido a nivel nacional, Loáciga (2016) de forma congruente con nuestro estudio y nuestros tratamientos, no registró diferencias significativas para esta variable (24,08 tratamiento 30%; 27,94 tratamiento 10%).

En general se espera que una planta de pepino genere el mismo número de frutos, en condiciones de menor suministro hídrico en comparación a una condición a capacidad de campo, como lo expuesto por los autores citados anteriormente, por lo tanto, deben existir grandes cambios en el suministro de riego para poder disminuir considerablemente el número de frutos, como lo expuesto por Santos (2002).

Peso promedio del fruto

Cuevas *et al.* (2011), no encontraron diferencias significativas en el peso promedio del fruto bajo cuatro tratamientos de niveles de fertirriego (100, 70% y dos que fueron controlados 100-70-70 y 70-100-70 distribuido en su ciclo fenológico) en melón (*Cucumis melo* L.), en Santaella, España. De igual forma Vásquez (2013), en Cohauila, México, no encontró diferencias significativas para esta variable en el cultivo de melón, bajo dos tratamientos de suministro hídrico (100 y 75%). Para el cultivo de pepino Quiroga (2016), tampoco encontró diferencias significativas ($p=0,548$), entre tratamientos de menor suministro hídrico (100 y 50% riego), todos estos autores corresponden este estudio cuando

no se encontró diferencias significativas sobre esta variable cuando expusimos las plantas a tratamientos de suministro de riego.

Quiroga (2014), menciona el contraste con la teoría expuesta por Bent (2008), quién cita que las plantas y los frutos se constituyen en un 98% de agua, y sería de esperarse que dadas las condiciones de menor suministro hídrico (tratamientos con riego 50%), el resultado fuera negativo para estas variables en los frutos, pero que en su estudio no lo fue así.

Reyes (2012), en un estudio afirma que encontrar pesos promedios similares entre tratamientos, para el cultivo del pepino es predecible, pues los frutos se cortan de un determinado tamaño (uniforme), cuando todavía están en crecimiento.

Clasificación comercial

En la distribución de la clasificación comercial reportada por Chacón (2015) a capacidad de campo (riego 30% drenaje), la proporción de frutos de primera calidad de pepino (48,12%) coincide con los datos del presente estudio (46,81%), mientras que la proporción de segunda, tercera y rechazo no fue así (25,69% categoría segunda y 26,14% para tercera y rechazo en conjunto), con menor proporción designada a frutos de categoría tercera y rechazo (41,98, 6,15 y 5,05% respectivamente) para el presente estudio, determinando una mejor calidad producida.

En el estudio realizado por Loáciga (2016), tampoco encontró diferencias significativas entre tratamientos de 30 y 10% de drenaje para ninguna clasificación comercial incluyendo rechazo.

La exposición a tratamientos de menor suministro hídrico, no generó diferencias significativas en la calidad de los frutos producidos en pepino en el estudio de Gil *et al.* (2003) donde no encontraron diferencias significativas para frutos comerciales, no comerciales y producción total, este autor referencia a Loomis y Crandall (1977) que

determinaron los mismos resultados para este cultivo, estos últimos reportan sus investigaciones a campo abierto, en este sentido los datos de estos autores concuerdan con los datos de este estudio, cuando no se presentaron diferencias significativas en la distribución de la calidad del fruto, aún cuando estas se expusieron en tratamientos de menor suministro hídrico.

Variables fisiológicas

Contenido de sólidos solubles

Barraza (2015) utilizando la var. Saber, no encontró diferencias significativas para esta variable en los frutos de plantas de pepino sometidas a diferentes niveles de concentración nutricional. Así como, Parra-Terraza *et al.* (2009), utilizando tres tratamientos de presión osmótica (-0,080, -0,115 y -0,150MPa) tampoco encontró diferencias para esta variable.

En el cultivo de melón, Cuevas *et al.* (2011) usando cuatro tratamientos de suministro de agua (100, 70% y dos que fueron controlados 100-70-70 y 70-100-70 distribuido en su ciclo fenológico), concuerdan con los resultados de este estudio al no encontrar diferencias significativas, Vásquez (2013) utilizando dos tratamientos de riego (100 y 75%), tampoco encontró diferencias para esta variable.

A nivel nacional en un estudio de tratamientos idénticos a este experimento, Loáciga (2016), tampoco encontró diferencias significativas, pero que al mismo tiempo el tratamiento de menor suministro hídrico expresó un aumento en esta variable (2,89°Bx tratamiento 30% y 3,08°Bx tratamiento 2).

Según Sensoy, Ertek, Gedik, y Kucukyumuk (2007), un exceso de riego resulta en una menor concentración en SST debido a que la concentración de los azúcares se ve diluida por el mayor contenido de agua que presentan los frutos, según Akinci y Losel (2009) mencionan lo contrario que un menor contenido de humedad en los frutos presenta un aumento del contenido de sacarosa en los frutos, este efecto en los frutos es referido

como ajuste osmótico (Turner y Jones, 1980), al mismo tiempo se refiere como el parámetro de calidad más determinante para los consumidores. Esta teoría indica que los tratamientos utilizados en esta investigación no son lo suficientemente estresantes para presentar esta condición de menor contenido de sólidos solubles a menor suministro de agua, aunque el tratamiento con menor suministro de agua siempre presentó un mayor valor de grados brix en los frutos.

La capacidad de la planta para realizar este ajuste, depende de la sobre-expresión de los genes principalmente los del grupo de las proteínas LEA, también están presentes las involucradas en las vías de síntesis de los osmolitos y las que funcionan como antioxidantes (Bray, 1997; Xiong, Schumaker, y Zhu, 2002; Bartles y Kotchoni, 2003), el leve mayor nivel de grados brix presentes en el tratamiento de menor suministro de riego, puede estar vinculada con la sobre-expresión de estos genes, que permitieron alcanzar a la plantas un leve mayor rendimiento, respecto al tratamiento con suministro óptimo.

Tasa fotosintética

Hnilička, Koudela, Martinkova, y Svozilova (2012), indican una curva ontogénica ascendente en sus primeros dos meses de producción (máxima $21,15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y descendente para la última semana productiva, con la misma tendencia para dos ciclos productivos realizados en las mismas fechas durante dos años. Así mismo los resultados de estos autores coinciden con este estudio, cuando en la etapa reproductiva existió un incremento de la fotosíntesis respecto a la vegetativa, aunque se desconocen los datos obtenidos en la última semana de producción para este estudio y por lo tanto si en ese lapso existió algún decrecimiento. Estos autores citan a Iqbal y Wright (1998) quienes mencionan que los cambios en la tasa de fotosíntesis durante el desarrollo de la ontogenia se presentan dependiendo del suministro hídrico expuesto en las plantas, en este sentido se induce a que el desarrollo fenológico de las plantas fue bien controlado y reflejado en esta variable para este estudio.

Thomas y Staub (1992), en un estudio realizado durante 1987, no obtuvieron diferencias significativas para $A_{m\acute{a}x}$ utilizando la variedad de pepino, Calypso, bajo dos tratamientos (un tratamiento con riego diario y otro tratamiento de riego alternado).

Hsiao (1993), Hirasawa y Hsiao (1999), citan que si el requerimiento hídrico mínimo del cultivo está completo, se reduciría la apertura estomática y fotosíntesis por unidad de área foliar solamente con un severo déficit hídrico, mientras que un suministro ligero no tiene prácticamente ninguna repercusión, en este sentido lo propuesto por estos autores, coinciden con los datos de este estudio, cuando no existió un efecto en la fotosíntesis entre tratamientos ya que el menor suministro hídrico aportado en las plantas de pepino para este estudio no fue perjudicial para la planta (12,84% de drenaje). Esto puede ser explicado por Gunasekera y Berkowitz (1993), quienes relacionan a la no afectación de la RuBisCO, unido a una ligera reducción de RuBP que se da gracias a la actividad enzimática que regenera la RuBP bajo menor suministro hídrico.

Otra explicación ante la respuesta en las plantas bajo menor suministro hídrico, se relaciona con el ajuste osmótico como cita Cushman (2001), quien menciona que esto permite que no se presente una disminución en el turgor o en la productividad fotosintética.

Por otro lado, una mayor tasa fotosintética encontrada en las plantas bajo menor suministro hídrico puede ser justificado por lo descrito por Decoteau *et al.* (1990), quienes indican, que a medida que la planta crece y sombrea su entorno ocasionando que la radiación reflejada disminuye, y con ello la tasa de fotosíntesis; por lo tanto de forma inversa en las plantas con menor suministro hídrico que poseen una menor altura, la restricción de crecimiento y área foliar permiten de una mayor captación de la radiación que incide sobre la planta.

También en un estudio realizado por García (2014), sobre el efecto del menor suministro hídrico en cacao, cita a Zhu, Wei, Li, Qian, y Yu (2004) quienes encontraron respuestas en la actividad SOD, GPX, APX, DHAR y GR en las hojas de pepino (*Cucumis sativus* L.) como mecanismos de defensa al daño oxidativo, estas sustancias se relacionan

con las ERO, que son moléculas muy pequeñas altamente reactivas debido a la presencia de una capa de electrones de valencia no apareada, se forman de manera natural como subproducto inevitable del metabolismo del oxígeno en las reacciones biológicas, el incremento en su producción es considerada universalmente como una condición común de estrés conocida como estrés hídrico, la medición de la actividad fisiológica de estas sustancias en las plantas bajo menor suministro hídrico, podrían explicar más específicamente como el pepino logra una adaptación frente al menor suministro hídrico.

Conductancia estomática

Hnilička *et al.* (2012), de igual forma no obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos para esta variable, evaluando el efecto del menor suministro hídrico en las plantas de pepino con dos tratamientos (100 y 50% ETo).

Ribas *et al.* (2000), no encontraron diferencias significativas sobre la variable resistencia estomática que es equivalente, pero inversa a la conductancia estomática, entre tres tratamientos de láminas de riego (522,4, 430,0 y 334,6mm) para dos periodos de cultivo (1996-1997), en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.), estos autores concluyen que la tensión superficial en la hoja fue similar para todos los tratamientos, pero no así a nivel radical. Estos autores citan a Gallego y Castilla (1997) concordando con los resultados, que tampoco hallaron diferencias entre los tratamientos de riego (0,75 ETo; 0,40 ETo y 0,20 ETo) en ningún momento de su ciclo. En comparación con los resultados de este estudio y estos autores citados anteriormente, se puede inferir que un suministro hídrico ligero no afectó la conductancia estomática.

Además, Melkonian y Wolfe (1995) en un estudio de abastecimiento hídrico radical en plantas de pepino, citaron a Tardieu, Zhang y Gowing (1993) quienes mencionan que la respuesta ante un menor suministro hídrico en un cultivar responde en función a la tensión hídrica suministrada. Sobre estas afirmaciones de Tardieu *et al.* (1993) se puede expresar que durante esta investigación el suministro de agua en ambos tratamientos fue el

adecuado, ya que no se presentaron diferencias significativas sobre esta variable, donde el menor suministro hídrico no generó disminuciones negativas sobre esta variable.

Medrano (1999), citó que la regulación de la apertura estomática permite a las plantas mantener la turgencia de las células en condiciones de menor suministro hídrico. El modo de acción de la tensión hídrica sobre g_s , en algunas especies muestran una estabilización de ψ foliar bajo un amplio rango de ψ en el suelo (Lorenzo, Ceulemans, Gabriels, Impens y Verdonck, 1985; Schulze, 1986).

Estos resultados concuerdan con esta investigación, cuando una variación en el suministro hídrico en el suelo, fue invariable en el proceso fisiológico de conductancia, sin embargo, se debe realizar un análisis de la variable del potencial foliar para corroborar todas las conclusiones de Lorenzo *et al.* (1985) y Schulze (1986), y llegar a conclusiones más detalladas.

Transpiración

Medrano, Lorenzo, Sánchez-Guerrero y Montero (2005) en una investigación bajo invernadero utilizando el cultivo de pepino, encontró una reducción de esta variable a lo largo de la ontogenia, lo que concuerda con los resultados de este estudio, cuando existió una reducción no significativa del nivel de transpiración según el estado fenológico de la planta. Por otro lado, Yang, Wang, Wei, Hikosaka y Goto (2009) en plantas maduras de pepino no encontraron una gran dependencia de la tasa de transpiración por índice de área foliar, sino que principalmente la transpiración dependía de la radiación solar. Esta afirmación puede explicar por qué existió una mayor tasa de transpiración en este estudio, debido a que la etapa vegetativa obtuvo una mayor RFA con respecto a la etapa reproductiva. Yang *et al.* (2009) atribuyen principalmente la reducción de la transpiración foliar en pepino a un aumento del gradiente vertical de la radiación debido a la atenuación de la misma hacia el interior del dosel vegetal.

Medrano (1999), determinó en dos ciclos de cultivo de pepino, a medida que evoluciona el cultivo, una reducción en la tasa de transpiración foliar que es coherente con este estudio, este autor manifiesta que esto se da por consecuencia de la interacción entre las condiciones climáticas generadas en el invernadero y las características fisiológicas inherentes al estado de desarrollo: variación de la radiación global incidente, aumento de zonas sombreadas en las hojas, disminución del déficit de presión de vapor y la propia ontogenia del cultivo.

Medrano (1999), referencia el efecto de la transpiración a través de Lorenzo (1994) que obtuvo, en un cultivo de pepino, las tasas de transpiración foliar más elevadas en los primeros estadios evaluados (hasta los 40 días después de la siembra) siendo de 10 a $8 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en las hojas situadas en la parte superior de la planta y de 4 en las hojas inferiores. Este autor menciona que los procesos de senescencia irán también asociados a una disminución en la tasa de transpiración, este mismo efecto fue reportado por De Graaf (1995) que observó una disminución en la tasa de transpiración en un cultivo de rosa en épocas donde predomina la presencia de hojas “viejas” debido a los sucesivos “cortes”.

Los resultados obtenidos por estos autores, coinciden con los datos de este estudio cuando se presentó una disminución de la tasa de transpiración en la etapa reproductiva respecto a la vegetativa.

Una explicación ante el efecto del menor suministro de riego sobre esta variable, Rizhsky, Liang, y Mittler (2002) y Oliveira, Fernandes y Rodrigues (2005), manifiestan que, el calor puede causar un incremento en la tasa de transpiración, que actúa como mecanismo fisiológico de disipación de calor, atenuando el calentamiento foliar, correspondiendo con los resultados de este estudio cuando la transpiración aumentó para controlar el efecto de la mayor fotosíntesis generada en el tratamiento con menor suministro de riego, debido a una posible sobreexpresión de genes de tolerancia y evitación a la sequía. De forma congruente Jarvis (1976), cita que esta capacidad de refrigeración de las plantas por transpiración, se presenta por medio de una elevada conductancia estomática, coincidiendo de igual forma con los resultados de este estudio cuando se presentó una mayor conductancia estomática.

Eficiencia en el uso del agua

García (2014), evaluó la EUA en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) con tratamientos de clones, y no encontró diferencias estadísticas, aunque fue levemente mayor en las plantas con menor suministro hídrico (10% y 20% en el Contenido Volumétrico de Agua en el Suelo) con relación a las no estresadas, coincidiendo con los datos del presente estudio cuando las plantas bajo menor suministro hídrico, no presentaron diferencias significativas respecto a las no estresadas. Este autor cita a Rada, Jaimez, García-Núñez, Azócar, y Ramírez (2005) que determinaron que paralelamente a la disminución de transpiración, el ajuste osmótico se ha reportado como un mecanismo para regular la pérdida de agua por las plantas de cacao bajo déficit hídrico.

Douh *et al.* (2013), no encontraron diferencias significativas en tres tratamientos de riego a distinto porcentaje de humedad en el cultivo de pepino, estos autores citan a Condon, Richards, Rebetzke, y Farquhar (2002), quienes indican que la EUA no tiene una relación coherente con la producción, tanto estos resultados, como García (2014), concuerdan con este estudio cuando no existieron diferencias significativas entre tratamientos, así también coincidió cuando la EUA no tuvo una relación directa con el rendimiento de producción obtenido, ya que la mayor EUA presente en el tratamiento a capacidad de campo, no significó el mejor rendimiento productivo.

Oliveira, Carvalho, Silva, Rezende, y Almeida (2011), no encontraron diferencias significativas para esta variable en tres tratamientos de diferente potencial hídrico (15, 30 y 60kPa), estos resultados de igual forma coinciden con esta investigación, cuando el tratamiento a capacidad de campo, presentó la mayor EUA durante la etapa vegetativa (19,38, 19,25 y 18,42kgm³ha respectivamente), estos autores argumentan lo mismo que la cita anterior cuando indican que, un aumento en la eficiencia no corresponde a un aumento en el rendimiento, además citan a Dermitas y Ayas (2009) que igualmente encontraron en pepino que la EUA fue mayor en los tratamientos sin déficit hídrico.

Medrano (1999), manifiesta que la EUA del cultivo puede mejorarse tanto mediante la reducción de la demanda evotranspiratoria como por el aumento del rendimiento productivo, obteniéndose ambos objetivos a través de un control medioambiental en los cultivos protegidos, esto se corroboró con la disminución del suministro hídrico con diferencias significativas, mientras que el rendimiento productivo no se vio afectado.

Fluorescencia

Kavas, Baloğlu, Akça, Kose y Gokçay (2013), en un estudio sobre el efecto de la sequía utilizando tres tratamientos de potencial osmótico (0, -0,2 y -0,4MPa), para el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.), no encontraron diferencias significativas entre tratamientos, para dos variedades (Kırkağaç y Galia), estos autores citan a Chaves *et al.* (2002) y Kocheva, Busheva, Georgiev, Lambrev, y Goltsev (2005) quienes también confirman en observaciones previas que el aparato fotosintético es resistente a cierto nivel de déficit hídrico.

Se considera que el PSII juega un papel importante en la respuesta de las plantas superiores al estrés ambiental (Baker, 1991). Ante condiciones adversas debida a estrés, se modifican las proporciones del reparto de energía entre estos procesos de fluorescencia (Moreno *et al.* 2008).

Correia *et al.* (2006), manifiestan que, por medio de un aumento de la peroxidación lipídica, unido a la rehidratación (suministro hídrico leve) de las plantas hace que se recupere la capacidad del PSII, esto demuestra que no hubo un daño permanente en el PSII y es corroborado por valores de Fv/Fm, sin diferencias significativas, estas afirmaciones son concordantes con este estudio cuando existió, este mismo efecto sin diferencias significativas sobre esta variable.

CONCLUSIONES

El rendimiento total por metro cuadrado del chile y el pepino producidos con dos diferentes abastecimientos hídricos y en las condiciones de esta investigación, no fue afectado. Sin embargo, la calidad de los frutos de chile sí presentó cambios, produciendo mayor número en la calidad de segunda y disminuyendo el número en las calidades primera y tercera con el tratamiento de 10 % de drenaje.

Las plantas de pepino se adaptan morfológicamente reduciendo su tamaño y el grosor de su tallo, al ser expuestas ante estrés hídrico, ya que su respuesta de producción no se ve afectada. En el caso del chile dulce, la adaptación solamente se dio en la reducción en la altura de la planta.

El comportamiento fisiológico de ambos cultivos no se vio afectado para todas las variables analizadas entre los tratamientos utilizados, sin embargo, el cultivo del chile presentó cambios considerables en todas las variables fisiológicas en comparación con el pepino, este comportamiento se dio tanto en la fase vegetativa y reproductiva.

El peso del fruto de chile dulce fue menor con 10 % de drenaje, en comparación con 30 % de drenaje. Además, el tratamiento de 10 % de drenaje provocó precocidad en el inicio de la cosecha en chile dulce, en comparación al tratamiento 30 % de drenaje.

La evidente considerable disminución de agua en el riego, se orienta a una disminución no estimada de los costos de producción.

RECOMENDACIONES

Es necesario realizar investigaciones donde el suministro de agua sea inferior al utilizado en esta investigación con el objetivo de conocer el comportamiento de estos cultivos ante un estrés mayor.

Considerando que los parámetros fisiológicos estudiados no tuvieron diferencias, es importante estudiar otras variables como los niveles de superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GPX), ascorbato peroxidasa (APX), dehidroascorbato reductasa (DHAR), glutatión reductasa (GR), especies reactivas de oxígeno (ERO), enzimas antioxidantes, osmolitos, prolina, peroxidasas, que nos ayuden a comprender cuáles son las adaptaciones que estas plantas realizan y así mejorar el manejo del cultivo en ambiente protegido bajo condiciones de estrés.

Es conveniente realizar estudios adicionales como el potencial foliar, la micromorfología de la hoja, evaluaciones a la raíz de volumen y longitud, que nos permitan conocer cuáles son los mecanismos morfológicos que las plantas de chile y pepino modifican para lograr ajustar su funcionamiento sin alterar su producción.

Es conveniente que en investigaciones de este tipo se considere el factor de costos con el objetivo de relacionar el diferencial de suministro de agua con la producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Agbicodo, E. M., Fatokun, C. A., Muranaka, S., Visser, R. G. F., y Linden Van Der, C. G. (2009). Breeding drought tolerant cowpea: Constraints, accomplishments, and future prospects. *Euphytica*, 167(3), 353–370. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-9893-8>
- Ahmadi-Mirabad., Lofti, M., y Reza, M. (2014). Growth, yield, yield components and water-use efficiency in irrigated Cantaloupes under full and deficit irrigation. *Electronic Journal of Biology*, 10(3), 79-84pp.
- Ahmed, A. F., Xueyong, H. Y., Yang, X., y Jiang, W. (2014). Deficit irrigation affects growth, yield, vitamin C content, and Irrigation water use efficiency of Hot Pepper Grown in soilless Culture. *HortScience*, 49(6), 722-728pp. Recuperado de <http://hortsci.ashspublications.org/content/49/6/722.full.pdf+html>
- Akinci, S., y Losel, D. M. (2009). The soluble sugars determination in cucurbitaceae species under water stress and recovery periods. *Advances in Environmental Biology*, 3(2), 175–183.
- Alvarado, K., Blanco, A., y Taquechel, A. (2010). *Fibra de coco. Una alternativa ecológica como sustrato agrícola*. Recuperado de http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev%202008-3/19-Coco.pdf
- Anderson, J., Park, I., y Chow, W. (1997). Photoinactivation and photoprotection of PSII in the nature. *Physiol Plant*, 100, 214-223pp. Doi: 10.1111/j.1399-3054.1997.tb04777.x
- Anguiano, J. C. (2010). *Comparación en la respuesta fisiológica en plantas de Chile bajo el efecto de tres temperaturas nocturnas* (Tesis de maestro en ciencias de producción agrícola). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 136pp. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/2043/1/1080190958.pdf>
- Aranda, I., Castro, L., Alía, R., Pardos, J. a, y Gil, L. (2005). Low temperature during winter elicits differential responses among populations of the Mediterranean evergreen cork oak (*Quercus suber*). *Tree Physiology*, 25(8), 1085–1090. <https://doi.org/10.1093/treephys/25.8.1085>
- Ashley, J. (1993). Drought and crop adaptation. *Dryland farming in Africa*. Macmillan Press Ltd, UK, 46-67.
- Ayala, F., Yáñez, M., Partiva, L., Ruiz, F., Campos, H., Vásquez, O., Velázquez, T., y Díaz, T. (2013). *Producción de pepino en ambientes diferenciados por mallas de sombreo fotoselectivo*. Información Técnica Económica Agraria (ITEA). Número (111). 3-17pp. Recuperado de [http://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2015/111-1/\(03-17\)%20ITEA%20111-1.pdf](http://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2015/111-1/(03-17)%20ITEA%20111-1.pdf)
- Azcón-Bieto, J., y Talón, M. (2003). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGrawHill. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Baker, N. R. (1991). A possible role for photosystem {II} in environmental perturbations of photosynthesis. *Physiologia Plantarum*, 81(4), 563–570. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb05101.x>
- Baker, N. R., y Rosenqvist, E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh196>
- Baker, J., Van dennSteele, C., y Dure, L. (1988). Sequence and characterization of 6 Lea proteins and their genes from cotton. *Plant Molecular Biology*, 11(3), 277–291. <https://doi.org/10.1007/BF00027385>
- Barraza, F. (2015). Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutricionales. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 60-71. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v9n1/v9n1a06.pdf>
- Bartles, D., y S.O. Kotchoni. (2003). Water stress induces the up-regulation of a specific set of gens in plants: aldehyde dehydrogenases as an example. *Bulg. J. Plant Physiol, Special Issue*, 37-51.
- Bautista, M. T. (2010). Potencial osmótico en la absorción nutricional y calidad de fruto en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) (Tesis de grado Maestra de ciencias). Colegio de Postgrados. Texcoco, México. 62pp. Recuperado de http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/153/Bautista_Cruz_MT_MC_Edafologia_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Beltrano, J., y Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Libros de Cátedra. Buenos Aires, Argentina: Universidad de la Plata. 181 páginas. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Benavides, A., Ramírez, H., Robledo, V., Maiti, R., Cornejo, E., Hernández, J., Sandoval, A., Mendoza, R., Samaniego, E., Roamírez, J. G., Bacopulos, E., Aguilera, A. Fuentes, L. A. (eds.). (2002). *Ecofisiología y bioquímica del estrés en plantas*. Coah, México. Universidad Autónoma Agrarias Antonio Narro. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Adalberto_Benavides-Mendoza/publication/305346608_Ecofisiologia_y_bioquimica_del_estres_en_plantas/links/57893ca808ae59aa6675e204/Ecofisiologia-y-bioquimica-del-estres-en-plantas.pdf
- Bent, E. (2008). *Lo que no sabíamos del Silicio*. Bergamo, Italia.
- Biles, C. L., y Abeles, F. B. (1991). Xylem Sap Proteins. *Plant Physiol*, 96, 597–601.
- Bilger, W., Schreiber, U., y Bock, M. (1995). Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. *Oecologia*, 102(4), 425–432. <https://doi.org/10.1007/BF00341354>

- Bisognin, D. A. (2002). Origin and evolution of cultivated cucurbits. *Ciência Rural*, 32(5), 715–723. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400028>
- Borquez, M. (2015). Efecto de compostas combinadas con un sustrato orgánico en el desarrollo del cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* L., en invernadero. Informe Técnico. Instituto Tecnológico de los Mochis, México. 37 páginas. Disponible en http://sistemanodalsinaloa.gob.mx/archivoscomprobatorios/27_asesorestancias/11601.pdf
- Bray, E. a. (1993). Molecular Responses to Water Deficit. *Plant Physiology*, 103, 1035–1040. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern087>
- Bray, E. A. (1997). Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science*. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)82562-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)82562-9)
- Calatayud, A., Penella, C., Penella, V., Marsal, J. I., Bonet, L., Nebauer, S. G., San Bautista, A., y López-Galarza, S. (2015). Respuesta de las plantas injertadas de pimiento en condiciones de estrés hídrico: influencia del injerto y del patrón. *Agrícola Vergel*, 34(381), 84-86pp. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Consuelo_Penella/publication/289529358_Respuesta_de_las_plantas_injertadas_de_pimiento_en_condiciones_de_estres_hidrico_influencia_del_injerto_y_del_patron/links/568ee2ed08aef987e567e392/Respuesta-de-las-plantas-injertadas-de-pimiento-en-condiciones-de-estres-hidrico-influencia-del-injerto-y-del-patron.pdf
- Campos, M. (2009). *Efecto de la inoculación de sustratos con Trichoderma spp. sobre el crecimiento y producción de plantas de chile dulce (Capsicum annuum) Linn, bajo ambiente protegido*. ITCR. San Carlos, Costa Rica. 92pp. Recuperado de <http://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/2896>
- Carvalho, E. (2009). *Manejo de irrigação da cultura do pepino Japonês (Cucumis sativus L.) em ambiente protegido* (Tesis de grado Maestría). Universidade Federal de Lavras (UFLA). Minas Gerais, Brasil. 108 p. Recuperado de http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3224/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_%20Manejo%20de%20irriga%C3%A7%C3%A3o%20da%20cultura%20do%20pepino%20japon%C3%AAs%20%28Cucumis%20sativus%20L.%29%20em%20ambiente%20protegido.pdf
- Casilimas, H., Monsalve, O., Bojacá, C., Gil, R., Vilagrán, E., Arias, L., y Stella, L. (2012). *Manual de producción de pimentón bajo invernadero*. Bogotá, Colombia: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 200 p. Recuperado de http://www.utadeo.edu.co/files/node/publication/field_attached_file/pdf-manual_de_produccion_de_pimenton_07-10-15_0.pdf
- Castilla, N. (2007). *Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo*. Madrid, España: mundi prensa. 462pp.

- Castro, S. M., Saraiva, J. A., Domínguez, F. M. J., y Delgadillo, I. (2007). Effect of mild pressure treatments and thermal blanching on yellow bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 44, 363-369. Recuperado de <http://ucanr.edu/datastoreFiles/608-490.pdf>
- CATIE. (1993). *Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de chile dulce*. Serie Técnica, Informe Técnico Número (201). Programa de Mejoramiento de Cultivos Tropicales. Turrialba, Costa Rica: CATIE. 168 páginas. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Ronald_Ochoa/publication/271526544_Guia_para_el_manejo_integrado_de_plagas_del_cultivo_de_chile_dulce/links/54cba24b0cf29ca810f2c8a1.pdf?origin=publication_list
- Cerdas, J. (2014). Comunicación personal. Parámetros de calidad para chile dulce y tomate en CENADA (Entrevista). Naranjo, Costa Rica.
- Cerdas, J. (2015). Comunicación personal. Parámetros de calidad para pepino en CENADA y en otros mercados (Entrevista). Naranjo, Costa Rica.
- Chacón, K. (2015). *Caracterización agronómica de 15 genotipos de pepino partenocárpico cultivados bajo ambiente protegido en Alajuela, Costa Rica* (Tesis de grado Licenciatura). ITCR. Alajuela, Costa Rica. 103páginas. Recuperado de http://bibliodigital.itcr.ac.cr/bitstream/handle/2238/6483/caracterizacion_15_genotipos_pepino_partenocarpico.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chamú, J. A., López, A., Ramírez, C., Trejo, C., y Martínez, E. (2011). Respuesta del pimiento morrón al secado parcial de la raíz en hidroponía e invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(1), 97-110pp. Texcoco, México. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000100008
- Chavarría, A. E. (2013). *Eficiencias de tres dosis de fertilizantes de las fuentes hidrosoluble, granulado convencional y liberación lenta en la producción de chile dulce (Capsicum annuum) c.v. Nathalie en Invernadero, en Cartago, Costa Rica* (Tesis de Maestría). Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 163 páginas.
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(SPEC. ISS.), 907-916. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>
- Chinchilla, E. (Ed). (1987). *Atlas Cantonal de Costa Rica, Cantón Barva de la Provincia de Heredia*. San José, Costa Rica. Recuperado de http://ns.ccp.ucr.ac.cr/bvp/mapoteca/CostaRica/generales/atlas_cantonal_1984/
- Cifre, J., Bota, J., Escalona, J. M., Medrano, H., y Flexas, J. (2005). Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 106(2-3), 159-170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.005>
- Cockshull, K. E., Graves, C. J., y Cave, C. R. J. (1992). The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticulture Science*, 67(1), 11-24.

- Condon, A. G., Richards, R. A., Rebetzke, G. J., y Farquhar, G. D. (2002). Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Science*, 42(1), 122–131. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.0122>
- Cornic, G., Le Gouallec, J. L., Briantais, J. M., y Hodges, M. (1989). Effect of dehydration and high light on photosynthesis of two C3 plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Elatostema repens* (Lour.) Hall f.). *Planta*, 177(1), 84–90. <https://doi.org/10.1007/BF00392157>
- Correia, M. J., Osorio, M. L., Osorio, J., Barrote, I., Martins, M., y David, M. M. (2006). Influence of transient shade periods on the effects of drought on photosynthesis, carbohydrate accumulation and lipid peroxidation in sunflower leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 58(1–3), 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06.015>
- Cowan, I. R., Lange, O. L., Nobel, P. S., Osmond, C. B., y Ziegler, H. (1982). Regulation of water use in relation to carbon gain in higher plants. *Physiological Plant Ecology*, 589–613; 3.
- CREA. (2015). *Fertirrigación*. Hoja Informativa. Número (11). Castilla-La Mancha, España: Universidad Castilla-La Mancha. Recuperado de <http://crea.uclm.es/siar/publicaciones/files/HOJA11.pdf>
- Cruz, J. A. (2017). *Evaluación del comportamiento productivo y calidad de 15 genotipos de pepino (Cucumis sativus L.) partenocárpico producidos bajo ambiente protegido en Alajuela, Costa Rica* (Tesis de grado licenciatura). UCR. Guanacaste, Costa Rica. 90 páginas.
- Cuevas, F., Soriano, M., Lozano, D., Pradas, I., Cardenosa, V., y González, V. (2011). Efecto del riego deficitario controlado en la calidad comercial y organoléptica del melón. *Actas de Horticultura*, 60, 4p. Recuperado de <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2060.%20XIII%20Congreso%20Nacional%20de%20Ciencias%20Hort%C3%ADcolas/Horticultura/Efecto%20del%20riego%20deficitario%20controlado%20en%20la%20calidad%20comercial%20y%20organol%C3%A9ptica%20del%20mel%C3%B3n.pdf>
- Cushman, J. C. (2001). Osmoregulation in Plants: Implications for Agriculture. *American Zoologist*, 41(4), 758–769. <https://doi.org/10.1093/icb/41.4.758>
- Dalla Costa, L., y Gianquinto, G. (2002). Water stress and watertable depth influence yield, water use efficiency, and nitrogen recovery in bell pepper: Lysimeter studies. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53(2), 201–210. <https://doi.org/10.1071/AR00133>
- Davies, W. J., Wilkinson, S., y Loveys, B. (2002). Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist*, 153, 449–460. doi:10.1046/j.0028-646X.2001.00345.x
- Davies, W. J., y Zhang, J. (1991). Root Signals and the Regulation of Growth and Development of Plants in Drying Soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 42(1), 55–76.

- Decoteau, M. J. (1990). Bell Pepper Plant Development over Mulches of Diverse Colors. *Hortscience*, 25(4), 460–462 ST–Bell Pepper Plant Development over M.
- De Graaf, R. (1995). Influence of moisture deficit leaf-air and cultural practices on transpiration of glasshouse roses. *Acta Hort*, 401, 545-552.
- Dermitas, C., y Ayas, S. (2009). Deficit irrigation effects on pepper (*Capsicum annum* L. Demre) yield in unheated greenhouse condition. *Journal of Food, Agricultural and Environment, Helsinki*, 7(4), 989-1003p.
- Dietz, K.-J., y Sunkar, R. (2010). Plant Stress Tolerance. *Methods in Molecular Biology*, 639(1), 291–297. <https://doi.org/10.1007/978-1-60761-702-0>
- Douh, B., Mguidiche, A., Bhourri, S., Mansour, M., Rania, H., y Boujelben, A. (2013). Yield and water use efficiency of cucumber (*Cucumis sativus* L.) conducted under subsurface drip irrigation system in a Mediterranean Climate. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 2(4), 46-51pp. Recuperado de <http://www.iosrjournals.org/iosr-jestft/papers/vol2-issue4/G0244651.pdf?id=3629>
- Dry, P.R., Loveys, B.R., Botting, D., y During, H. (1996). *Effects of partial rootzone drying on grapevine vigour, yield, composition of fruit and use of water*. Proceedings of the Australian Wine Industry Technical Conference. 126–131.
- During, H., Loveys, B. R., y Dry, P. R. (1997). Root signals affects water use efficiency and shoot growth. *Acta Horticulturae*, 427, 1-14.
- Dussi, M. C. (2007). *Intercepción y distribución lumínica en agroecosistemas frutícolas*. 200-241pp. En: Sozzi, G.O. (ed.). 2007. *Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Einhorn, T., y Caspari, H. W. (2004). Partial rootzone drying and deficit irrigation of “gala” apples in a semi-arid climate. In *Acta Horticulturae* (Vol. 664, pp. 197–204). <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0013-9>
- Engelbrecht, B. M. J., y Kursar, T. A. (2003). Comparative drought-resistance of seedlings of 28 species of co-occurring tropical woody plants. *Oecologia*, 136(3), 383–393. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1290-8>
- Escalante, L., Trejo, R., Esquivel, O., Arreola, J. G., y Flores, A. (2008). Comparación de tasas fotosintéticas en algunas plantas cultivadas y malezas. Serie Zonas Áridas. *Revista Chapingo*, 7, 165-172pp. Recuperado de <https://chapingo.mx/revistas/phpscript/download.php?file=completoyid>
- Escalona, J. M., Flexas, J., Bota, J., y Medrano, H. (2003). Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. *Vitis*, 42(2), 57–64.

- FAO. (2008). Anuario estadístico de la FAO. Producción de frutas y hortalizas y su proporción a nivel mundial. 67-70pp.
- FAO. (2002). El cultivo protegido en clima mediterráneo. *Estudio FAO, Producción Y\protección Vegetal*, 90, 344. [https://doi.org/ISBN 92-5-302719-3](https://doi.org/ISBN%2092-5-302719-3)
- FAO y SAGARPA. (2007). Proyecto tipo: Producción de hortalizas a cielo abierto y bajo condiciones protegidas. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA). México. Recuperado de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/AsistenciaCapacitacion/Documents/red%20del%20conocimiento/manuales%20pesa/invernaderos.pdf>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., y Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185–212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
- Farooqi, A. H., Shukla, Y. N., Sharma, S., y Bansal, R. P. (1994). Relationship between gibberellin and cytokinin activity and flowering in *Rosa damascena* Mill. *Plant Growth Regulation*, 14(2), 109–113. <https://doi.org/10.1007/BF00025210>
- Farquhar, G. D., y Sharkey, T. D. (1982). Stomatal Conductance and Photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 33(1), 317–345. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.001533>
- FDA. (1992). *Cultivo de pepino*. Boletín técnico Número (15). Santo Domingo, República Dominicana: FDA. 15pp. Recuperado de <http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/pepino.pdf>
- Fernández, M. E., y Gyenge, J. E. (2010). *Técnicas en medición en ecofisiología vegetal: Conceptos y procedimientos*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA. 140pp. Recuperado de http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_tecnicas_en_medicion_en_ecofisiologia_vegetal.pdf
- FHIA. (2009). *Evaluación del rendimiento de chile dulce de colores en invernadero, bajo tres sistemas de formación de tallos*. Programa de Hortalizas. Hoja técnica. Número (14). Comayagua, Honduras: FHIA. 4páginas. Recuperado de http://www.fhia.org.hn/downloads/hortalizas_pdfs/hojatechortalizas14Abril2009.pdf
- Figueroa, R., Berumen, S., Maraña, J. A., Orona, I., Vázquez, C., Martínez, J. J., y Gallegos, A. (2012). Eficiencia en el uso del agua en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con riego diferenciado por cintilla y varios niveles de materia orgánica en el suelo. Relación agua suelo planta. *Agrofaz*, 12(1), 5p. Recuperado de http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2012121IV_1.pdf
- Filgueira, F. A. R. (2003). *Novo Manual de Olericultura: Agrotecnología moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 2a Edición. Vicosa, Brasil: Universidade Federal de Viçosa. 412 páginas.

- Flexas, J., Barbour, M. M., Brendel, O., Cabrera, H. M., Carriquí, M., Díaz-Espejo, A., ... Warren, C. R. (2012). Mesophyll diffusion conductance to CO₂: An unappreciated central player in photosynthesis. *Plant Science*. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.05.009>
- Flexas, J., Escalona, J. M., y Medrano, H. (1998). Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. *Aust. J. Plant Physiol*, 25, 893-900.
- Florido, M., y Bao, L. (2014). Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 35(3), 70-88 páginas. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193232155008.pdf>
- Franquez, M. (2016). *Efecto de Dos Tipos de Injerto en la Calidad Comercial y Producción de Pepino en Condiciones de Malla Sombra* (Tesis de Grado Bachiller). Coahuilá, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 57páginas. Recuperado de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7957/63929%20FRANQUEZ%20FRANQUEZ%2c%20MISAEL%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
- FUSADES. (1990). *Producción comercial de pepino*. Programa de diversificación agrícola. Serie Técnica, Guía Técnica. Número (4). San Salvador, El Salvador. 1-75p.
- Gallego, A., y Castilla, N. (1997). *Riego deficitario por goteo del melón en invernadero*. Actas de Horticultura. II Congreso Iberoamericano. III Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. Vilamoura, Portugal. 66-70 pp.
- Galmés, J., Ribas-Carbó, M., Medrano, H., y Flexas, J. (2010). Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO₂ concentration under water stress. *J. Exp. Bot*, 62, 653-665 pp.
- Gálvez, A., y López, J. (2014). *Efecto del estrés hídrico en un cultivo en invernadero de pimiento injertado*. Actas del III Workshop en Investigación agroalimentaria. 203-206pp. Recuperado de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4152/aiw.pdf?sequence=6#page=204>
- Gamarra, W., Trebejo, I., y Noriega, V. (eds.). (2010). *Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú*. Programa de Maíz, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Dirección General de Agrometeorología y Universidad Nacional Agraria La Molina. 90páginas. Disponible en http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/Estudio_Efecto_Produccion_Productividad_de_maiz.pdf
- Gámez, L. (1989). *Estudio de adaptabilidad de cinco cultivares de chile morrón (Capsicum annuum L.), en Marín, N. L. en primavera de 1988* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, México. 76pp.
- Garau, A. M., Ghera, C. M., Lemcoff, J. H., y Barañao, J. J. (2009). Weeds in *Eucalyptus globulus* subsp. *maidenii* (F. Muell) establishment: Effects of competition on sapling growth and survivorship. *New Forests*, 37(3), 251–264. <https://doi.org/10.1007/s11056-008-9121-8>

- García, J. (2014). *Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (Theobroma cacao L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico* (Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 166p. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/46575/1/07797033.2014.pdf>
- Gardner, B. R., Pearce, R. B., y Mitchel, R. L. (1985). *Physiology of crop plants*. 2da edición. Iowa, Estados Unidos: Iowa State University Press. 327 págs.
- Garruña-Hernández, R., Orellana, R., Larque-Saavedra, A., y Canto, A. (2014). Understanding the physiological responses of a tropical crop (*Capsicum chinense* Jacq.) at high temperature. *PLoS ONE*, 9(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111402>
- Genty, B., Briantais, J. M., y Da Silva, J. B. (1987). Effects of drought on primary photosynthetic processes of cotton leaves. *Plant Physiology*, 83(2), 360-364pp.
- Gebhardt, S. E., Cutrufelli, R., y Matthews, R. H. (1978). *Composition of Foods: Raw, Processed, Prepared*. Agriculture Handbook (8). Tercera edición. Washington, Estados Unidos: Consumer and Food Economics Institute, Research Division United States Department of Agriculture. 238 páginas. Recuperado de <https://naldc.nal.usda.gov/naldc/download.xhtml?id=CAT79710594ycontent=PDF>
- Gilmore, A. (2002). Advances in understanding acclimation to light stress and light-energy dissipation in photosynthetic organisms: an overview of the Light Stress and Photosynthetic meeting (LS2001) and dedicated Special papers. *Funct. Plant. Biol*, 29, 1125-1129pp. <https://doi.org/10.1071/FP02127>
- Gil, R., Fernández, M., González, A., Castaño, B., e Iglesias. E. (2003). *Efecto de la frecuencia de riego sobre el crecimiento y productividad de un cultivo de pepino bajo invernadero*. XXI Congreso Nacional de Riegos. Riego y drenajes XXI año XIX. Almería, España. 11pp. Recuperado de <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/efecto-de-la-frecuencia-de-riego-sobre.pdf>
- Gliessman-Stephen, R. (2002). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Diversidad y estabilidad del agroecosistema*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Goldhamer, D. A., Salinas, M., Crisosto, C., Day, K. R., Soler, M., y Moriana, A. (2002). Effects of regulated deficit irrigation and partial root zone drying on late harvest peach tree performance. In *Acta Horticulturae* (Vol. 592, pp. 343–350). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.592.48>
- González, M. (2011). *Combinación de sustratos y solución nutritiva en chile manzano (Capsicum pubescens R y P)* (Tesis de grado maestría). Universidad Autónoma de Chapingo.

- Chapingo, México. 103pp. Recuperado de <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2011061408126433.pdf>
- González-Real, M. M., Liub, H. Q., y Baille, A. (2009). Influence of fruit sink strength on the distribution of leaf photosynthetic traits in fruit-bearing shoots of pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 66, 195–202pp. Recuperado de <http://documentslide.com/documents/influence-of-fruit-sink-strength-on-the-distribution-of-leaf-photosynthetic.html>
- Govindje, e. (1995). Sixty-Three Years Since Kautsky: Chlorophyll *a* Fluorescence. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22(2), 131. <https://doi.org/10.1071/PP9950131>
- Grant, O. M., Stoll, M., y Jones, H. G. (2004). Partial rootzone drying does not affect fruit yield of raspberries. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(1), 125–130. <https://doi.org/10.1080/14620316.2004.11511724>
- Gunasekera, D., y Berkowitz, G. A. (1993). Use of Transgenic Plants with Ribulose-1,5-Bisphosphate Carboxylase/Oxygenase Antisense DNA to Evaluate the Rate Limitation of Photosynthesis under Water Stress. *Plant Physiology*, 103(2), 629–635. Retrieved from <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=159024&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Hamlyn, J. G. (2013). *Plants and Microclimate A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. University Printing House, Cambridge CB2 8BS, United Kingdom Published (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hatfield, J. L., y Burke, J. J. (1991). Energy exchange and leaf temperature behaviour of three plant species. *Environmental and Experimental Botany*, 31, 295–302 ST–Energy exchange and leaf temperature.
- Hernández, J. B. (2014). *Respuesta fisiológica y eficiencia de uso de agua en Capsicum annuum L. en un sistema hidropónico con déficit de riego y drenaje cero*. Postgrado de recursos genéticos y productividad fisiológica vegetal (Maestro de ciencias). Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Texcoco, México. Recuperado de http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/2446/Hernandez_Palomo_JB_MC_Fisiologia_Vegetal_2014.pdf?sequence=1
- Herrera, R. E. (2016). *Incidencia en la producción del cultivo de pimiento (Capsicum annuum con aplicación de diferentes láminas de riego por goteo en la zona de Quinsaloma 2015* (Tesis de grado bachiller). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. 71 páginas. <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1936/1/T-UTEQ-0012.pdf>
- Herrera, W. (1985). *Clima de Costa Rica*. San José, Costa Rica: UNED. 118 páginas.
- Hirasawa, T., y Hsiao, T. C. (1999). Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. *Field Crops Research*, 62, 53–62.

- Hnilička, F., Koudela, M., Martinkova, J., y Svozilova, L. (2012). Effects of deficit irrigation and straw mulching on gas exchange of cucumber plants (*Cucumis Sativus* L.). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 60(3), 43–50.
- Hochmuth, R.C. (2001). *Greenhouse cucumber production- Florida greenhouse vegetable production handbook*. Volumen (3). Florida, Estados Unidos: University of Florida. p. 7. Recuperado de https://www.thevespiary.org/library/Files_Uploaded_by_Users/llamabox/Botany/Greenhouse%20Cucumber%20Production%20-%20CV26800.pdf
- Hsiao, T. C. (1993). Growth and productivity of crops in relation to water status. *Acta Horticulturae*, 335, 137–148. Retrieved from file:///home/ford/Documents/PDF/rfd9764.pdf
- Hsiao, T. C. (1973). Plant Responses to Water Stress. *Ann Rev. Plant Physiol*, 24, 519–570.
- Ibarra, J. L., Quezada, M. R., y Munguía, J. (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 plástico en agricultura (CIDAPA). Bogotá, Colombia.
- IMN. (2009). *Datos climáticos. Periodo 2008-2009*. Heredia, FESL, Universidad Nacional de Costa Rica: Estación Meteorológica IMN.
- Iqbal, J. y Wright, D. (1998). Effects of water deficit and competition on net photosynthesis of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) and two annual weeds (*Phalaris minor* Retz. and *Chenopodium album* L.). *Cereal Research Communications*, 26(1), 81–88.
- Ismail, S. M. (2010). Influence of deficit irrigation on water use efficiency and bird pepper production (*Capsicum annum* L.). *Journal of King Abdulaziz University (JKAU): Met. Environ. and Arid Land Agr. Sci*, 21, 29–43.
- Jaimez, R. E., Da-Silva, R., D'Aubeterre, A., Allende, J., Rada, F., y Figueiral, R. (2005). Variaciones microclimáticas en invernadero: efecto sobre las relaciones hídricas e intercambio de gases en pimentón (*Capsicum annum*). *Agrociencia*, 39(1), 41-50pp.
- Jarvis, P.G. (1976). The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Series B, Biological Sciences*, 273(927), p.593-610. Recuperado de <https://www.unc.edu/courses/2007fall/geog/801/001/www/ET/Jarvis76.pdf>
- Jiang, Y., y Fu, J. (2000). Ethylene regulation of fruit ripening: Molecular aspects. *Plant Growth Regulation*, 30(3), 193–200. <https://doi.org/10.1023/A:1006348627110>
- Jiménez, U., Campos, H., Vicente, J., Marín, S., Barrantes, L., y Carrillo, M. (2007). *Agrocadena Regional Cultivo Chile dulce*. Grecia, Alajuela: MAG. 76 páginas. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00069.pdf>

- Joliet, O. (1993). Modelling of water uptake, transpiration and humidity in greenhouses, and of their effects on crops. International Society for Horticultural Science (ISHS). *Acta Horticulturae*, 328(4), 69-78pp. [Doi: 10.17660/ActaHortic.1993.328.4](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.328.4)
- Kang, S., Hu, X., Goodwin, I., y Jerie, P. (2002). Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. *Scientia Horticulturae*, 92(3-4), 277-291. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00300-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00300-4)
- Kavas, M., Baloğlu, M. C., Akça, O., Kose, F. S., y Gokçay, D. (2013). Effect of drought stress on oxidative damage and antioxidant enzyme activity in melon seedlings. *Turkish Journal of Biology*, 37, 491-498. doi: 10.3906/biy-1210-55 Recuperado de <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/121007>
- Khurana, E., y Singh, J.-S. (2004). Germination and seedling growth of five tree species from tropical dry forest in relation to water stress: impact of seed size. *Journal of Tropical Ecology*.
- Kirda, C., S. Topcu, H. Kaman, A. C. Ulger, A. Yazici, M., y Cetin, M. R. Dericci. (2005). Grain yield response and N-fertiliser recovery of maize under deficit irrigation. *Field Crops Research*, 93, 132-141.
- Kitano, M., Eguchi, H., y Matsui, T. (1983). Analysis of heat balance of leaf with reference to stomatal responses to environmental factors. *Biotronics*, 12, 19-27. Recuperado de <http://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/handle/2324/8106/KJ00004506685.pdf>
- Kocheva, K. V., Busheva, M. C., Georgiev, G. I., Lambrev, P. H., y Goltsev, V. N. (2005). Influence of short-term osmotic stress on the photosynthetic activity of barley seedlings. *Biol Plant*, 49, 145-148.
- Krístkova, E., Lebada, A., Vinter, V., y Blahousek, O. (2003). Genetic resources of the genus *Cucumis* and their morphological description. *Horticultural Science (Prague)*, 30(1), 29pp.
- Kulkarni, M., y Phalke, S. (2009). Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annum* L.) under water stress. *Scientia Horticulturae*, 120(2), 159-166pp.
- Leib, B. G., Caspari, H. W., Redulla, C. A., Andrews, P. K., y Jabro, J. J. (2006). Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semiarid climate. *Irrig. Sci*, 24, 85-99. Doi: 10.1007/s00271-005-0013-9
- Lelièvre, J. M., Latchè, A., Jones, B., Bouzayen, M., y Pech, J.C. (1997). Ethylene and fruit ripening. *Physiol Plant*, 101, 727-739.

- Leopold, A.C. (1980). Ageing and senescence in plant development. CRC. Boca Raton. 12pp.
- Levitt, J. (1980). *Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol. II. Water, Radiation, Salt and Others Stresses. Responses of Plants to Environmental Stresses.*
- Linares, L. (2004). Comportamiento de variedades de chile dulce (*Capsicum annuum*) en la región occidental de el Salvador. San Salvador, El Salvador. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 15(1), 25-29pp.
- Loáciga, J. C. (2016). *Efecto de dos regímenes de humedad del sustrato y dos formas de aplicación de un bioestimulante sobre el rendimiento y calidad de chile dulce (Capsicum annuum L.) y pepino (Cucumis sativus L.), en ambiente protegido en La Garita de Alajuela, Costa Rica* (Tesis de grado licenciatura). UCR. Guanacaste, Costa Rica. 62 páginas.
- Loomis, E.L, y Crandall, P.C. (1977). Water Consumption of Cucumbers during Vegetative and Reproductive Stages of Growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*, 102(2), 124-127.
- López, L. (2008). Taller de expectativas nacionales para la actividad de exportación de chile y tomate hacia Estados Unidos. Programa Nacional Sectorial de Tomate. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica.
- López, A., Trejo, C., Peña, C., Ramírez, C., Tijerina, L., y Carrillo, J. A. (2008). Secado parcial de la raíz de jitomate: efectos en la fisiología de la planta y calidad de fruto. *Agricultura Técnica en México*, 34(3), 297-302pp. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0568-25172008000300004yscript=sci_arttextylng=pt
- López-Ordaz, A., Trejo-López, C., Ramírez, C., Peña, C. B., Tijerina, L., y Carrillo, J. A. (2011). Técnica de riego para incrementar la eficiencia del uso de agua en jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(4), 475-488. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextypid=S2007-09342011000400001ylng=esytlng=es
- López, R., Arteaga, R., Vázquez, M. A., López, I., y Sánchez, I. (2009). Índice De Estrés Hídrico Como Un Indicador Del Momento De Riego En Cultivos Agrícolas. *Agricultura Técnica En México*, 35(1), 97-111.
- Lorenzo, P. (1994). *Intercepción de luz, bioproductividad e intercambio gaseoso durante la ontogenia de un cultivo invernadero de Cucumis sativus. L. en Almería* (Tesis Doctoral). Universidad de Barcelona. España. 220 pp.
- Lorenzo, P., Ceulemans, R., Gabriels, R., Impens, I., y Verdonck, O. (1985). Effects of short-term water stress on leaf gas exchange processes and plant water potential in shefflera. *HortScience*, 20(5), 932-934.

- Loveys, B. R., Dry, P. R., Stoll, M., y McCarthy, M. G. (2000). Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta horticultrae*, 537, 187-197pp.
- Lovisoló, C., Perrone, I., Carra, A., Ferrandino, A., Flexas, J., Medrano, H., y Schubert, A. (2010). Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* sp.) organs and in their hydraulic and nonhydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecular update. *Funct. Plant Biol*, 37, 98-116 pp.
- Ludlow, M. M. (1980). *Adaptive significance of stomatal responses to water stress*. En Turnet, N. C., y Kramer, P. J. (eds.). *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. New York, Estados Unidos: John Wiley and Sons. 23–128pp.
- Lutts, S., Majerus, V., y Kinet, M. (1999). NaCl effects on proline metabolism in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Physiologia Plantarum*, 105(3), 450-458pp.
- Madrigal, A. A. (2006). *Diseño de un Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para ser utilizado en la Producción de Pepino en un invernadero de Alta Tecnología, en Zarceró, Alajuela* (Tesis de grado licenciatura). Escuela de Ingeniería Agropecuaria Administrativa. ITCR. Cartago, Costa Rica. 120pp. Recuperado de <http://bibliodigital.itcr.ac.cr/bitstream/handle/2238/435/Practica%20de%20especialidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marín, F. (2010). *Cuantificación y valoración de estructuras procesos de producción agrícola bajo ambientes protegidos en Costa Rica*. Informe Final Proyecto FITTACORI F-02-08. San José, Costa Rica: Imprenta Nacional. 36 páginas. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00290.pdf>
- Martínez, R., y Soriano, A. R. (2014). *Propiedades físicas y químicas de los sustratos*. Colima, México. Recuperado de http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/14/2013/anuales/anu_1105-6-2014-05-1.pdf
- May, C., Pérez, A., Ruiz, E., Ic, A. E., y García, A. E. (2011) Efecto de niveles de humedad en el crecimiento y potencial hídrico de *Capsicum chinense* Jacq. y su relación con el desarrollo de *Bemisia tabaci* Genn. *Trop. Subtrop. Agroecosyst*, 14, 1039-1045pp. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000300032
- Medrano, E. (1999). *Gestión de riego en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en sustrato: evaluación de la transpiración durante la ontogenia* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. España. 236pp. Recuperado de http://oa.upm.es/692/1/Evangelina_Medrano_Cortes.pdf
- Medrano, E., Lorenzo, P., Sánchez-Guerrero, M. C., y Montero, J. I. (2005). Evaluation and modelling of greenhouse cucumber-crop transpiration under high and low radiation conditions. *Scientia Horticulturae*, 105(2), 163-175. Doi: 10.1016/j.scienta.2005.01.024

- Medrano, H., Escalona, J. M., Bota, J., Gulias, J., y Flexas, J. (2002). Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, 89, 895–905. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf079>
- Melkonian, J., y Wolfe, D. (1995). Relative sensitivity of leaf elongation and stomatal conductance of cucumber plants to changes in leaf and soil water potentials. Horticulture section. *Canadian Journal of Plant Science*. 909-916pp.
- Méndez, C. y Marín, F. (2015). *El concepto de agricultura protegida para el trópico latinoamericano*. Boletín número (54). 25 páginas. Recuperado de [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP9\(54\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP9(54).pdf)
- Meneses, C. (2013). *Valoración de sustratos obtenidos a partir de diferentes materias primas en el cultivo de pepino (Cucumis sativus L.) tipo holandés, en invernadero* (Tesis de Licenciatura). UCR. San José, Costa Rica. 89 p.
- Miguel, A. (2007). *Injerto de Hortalizas*. 1ra edición. España: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 79-81pp.
- MAG. (2006). *Criterios y expectativas de Del Monte Costa Rica. hacia la exportación de tomate y pimiento*. San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/pronap06-criterio-delmonte.pdf>
- MAG. (2003). *Propuesta de estrategia nacional para la Producción en Ambientes Protegidos*. San José, Costa Rica.
- MAG. (1991). *Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica*. Boletín Técnico. Número (74). San José, Costa Rica. 505 páginas.
- Mitra, J. (2001). Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*.
- Monge, J. E. (2011). *Memoria de I Taller sobre producción de melón en invernadero*. 8 de abril. EEAFBM, Escuela de Agronomía. Alajuela, Costa Rica: UCR.
- Monge, J. E. (2010). *Memoria de I Taller sobre producción de chile dulce en invernadero*. 9 de diciembre. EEAFBM en Alajuela, Costa Rica: UCR.
- Monge-Pérez, J. E. (2016). Efecto de la poda y la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del pimiento cuadrado (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, ISSN 0379-3962, ISSN-E 2215-3241, Vol. 29, N°. 2, 2016, Págs. 125-136, 29(2), 125–136. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i2.2696>
- Monge-Pérez, J. E. (2014). Caracterización de 14 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 27(4): 58-68.

- Monteith, J. L., y Unsworth, M. H. (1990). *PRINCIPLES OF ENVIRONMENTAL PHYSICS SECOND EDITION*. Monteith, J. L. And M. H. Unsworth. *Principles of Environmental Physics, Second Edition*. Xii+291p. Routledge, Chapman and Hall: New York, New York, USA. *Illus. Paper*.
- Montes, A. (1993). *Cultivo de hortalizas: Guía práctica*. 1ra Edición. Tegucigalpa, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. 81 páginas.
- Morales, M. I., Romero, M., Soriano, T., Escobar, I., Hernández, J., Martín, A., Peláez, M., y Castilla, N. (2006). *Transmisividad a radiación solar de mallas para invernaderos*. Actas de Horticultura. Recuperado de <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2046.%20X%20Jornadas%20del%20Grupo%20de%20Horticultura/SESION%20I.%20CULTIVO%20PROTEGIDO/Transmisividad%20a%20radiaci%C3%B3n%20solar%20de%20mallas%20para%20invernaderos.pdf>
- Moreno, A. E. (2015). *Respuesta del cultivo de pimiento (Capsicum annum L.) var. Nathalie bajo invernadero a la aplicación foliar complementaria con tres tipos de lactofermentos*. (Tesis de Grado Bachiller). Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito, Ecuador: Universidad Central de Ecuador (UCE). 80 p.
- Moreno, D., Cruz, W., García, E., Ibañez, A., Barrios, J., y Barrios, B. (2013). Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*, 4(6), 909-920p. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263128354007.pdf>
- Moreno, E., Mora, R., Sánchez, F., y García, V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annum L.*) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(2), 5-18pp. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2011000500002
- Moreno-Pérez, E. C., Avendaño-Arrazate, C. H., Mora-Aguilar, R., Cadena-Iñiguez, J., Aguilar-Rincón, V. H., Aguirre-Medina, J. F. (2011). Diversidad morfológica en colectas de chile guajillo (*Capsicum annum L.*) del centro-norte de México. *Revista Chapingo*, 17, 23-30. doi:10.5154/r.rchsh.2011.17.004
- Moreno, S., Perales, H., y Salcedo, M. O. (2008). La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica*, 27(4), 119-129. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/490/49011464003.pdf>
- Mundree, S. G., Baker, B., Mowla, S., Peters, S., Marais, S., Willigen, C. Vander, ... Thomson, J. A. (2002). Physiological and molecular insights into drought tolerance. *Minireview African Journal of Biotechnology*, 1(2), 28-38.

- Muy, D., Siller, J., Díaz, J., y Valdéz, B. (2004). Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de pepino de mesa. *Rev. Fitotec. Mex*, 27(2), 157-165p. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/610/61027206.pdf>
- Nogueira, I., da Silva, A., Gomes, M., Lopes, R., y Guerra, V. (2004). Características agronómicas de híbridos de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em Manaus-AM. Setor Olericultura. Amazonia Ocidental, Brasil: Escola Agrotécnica Federal de Manaus 4pp. Recuperado de http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/46_0045.pdf
- Oliva, Z. (2015). *Efecto de colores de cobertura plástica al suelo y del manejo de poda en chile pimienta variedad Nathalie, bajo casa malla; La Fragua, Zacapa* (Tesis de Grado Licenciatura). Universidad Rafael Landívar. Zacapas, Guatemala. 69p. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/09/Oliva-Zahyda.pdf>
- Oliveira, A. D., Fernandes, J. E., y Rodrigues, T. J. D. (2005). Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. *Engenharia Agrícola*, 25, p.86-95.
- Oliveira, E. C., Carvalho, J. D. a., Silva, W. G. Da, Rezende, F. C., y Almeida, W. F. De. (2011). Effects of water deficit in two phenological stages on production of japanese cucumber cultivated in greenhouse. *Engenharia Agrícola*, 31(4), 676–686. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000400006>
- Oliveira, F. (2012). *Cultivo de pimentão em ambiente protegido utilizando diferentes manejos de fertirrigação*. Piracicaba, Brasil: Universidade de São Paulo. 222páginas. Recuperado de http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-30102012-093744/publico/Francisco_de_Assis_de_Oliveira_versao_revisada.pdf
- Orellana, F. E., Escobar, J. C., Morales, A. J., Méndez, I. S., Cruz, R. A. y Castellón, M. E. (2001). *Guía Técnica: Cultivo de Chile*. San Salvador, El Salvador: CENTA. 49 páginas. Recuperado de <http://simag.mag.gob.sv/uploads/pdf/201412011299.pdf>
- Osmond, C., Anderson, J., Ball, M., y Egerton, J. (1999). *Compromising efficiency: the molecular ecology of light-resource utilization in terrestrial plants*. En: Press, M. C., Scholes, J. D., y Baker, M. G. (eds.). *Advances in Physiological Plant Ecology*. Oxford, Estados Unidos: Blackwell Science. 1-24 pp.
- Padrón, R. A. R., Ramírez, L. R., Swarowsky, A., y Daboín, J. R. (2014). Efecto del riego deficitario y diferentes frecuencias en la producción del cultivo de pimentón. *Interciencia*, 39(8), 591–596.
- Parra-Terraza, S., Baca, C., Carrillo, G., Kohashi, S., Martínez, G., y Trejo, L. (2004). Silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva en el crecimiento de pepino. *Terra Latinoamericana*, 22, 467-473. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311096011.pdf>
- Parra-Terraza, S., Baca, G. A., Tirado, J. L., Villarreal, M., Sánchez, P., y Hernández, S. (2009).

Calidad del fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a silicio y al potencial osmótico de la solución nutritiva. *Terra Latinoamericana*, 27(2), 9pp. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v27n2/v27n2a5.pdf>

Parry, M. A. J., Flexas, J., y Medrano, H. (2005). Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*, 147, 211-226 páginas. Doi: 10.1111/j.1744-7348.2005.00032.x

Pearcy, R. W., Schulze, E.-D., y Zimmermann, R. (2000). Measurement of transpiration and leaf conductance. In *Plant Physiological Ecology* (pp. 137–160). https://doi.org/10.1007/978-94-010-9013-1_8

Peil, R., y Galvez, J. (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *R. Bras. Agrociência*, 11(1), 5-11. Recuperado de <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/viewFile/1171/966>

Pérez, A., Pineda, A., Latournerie, L., Pam-Pech, W., y Godoy, C. (2008). Niveles de evapotranspiración potencial en la producción de chile habanero. *Revista TERRA Latinoamericana*, 26, 53-59pp. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000100007

Pickersgill, B. (1971). Relationships Between Weedy and Cultivated Forms in Some Species of Chili Peppers (Genus capsicum). *Evolution*. <https://doi.org/10.2307/2406949>

Pinheiro, C., y Chaves, M. M. (2012). Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data?. *J. Exp. Bot*, 62(3), 869-882 pp.

Pompelli, M., Barata, R., Vitorino, H., Gonçalves, E., Rolim, E., Santos, M., Almeida, J., Ferreira, V., Lemos, E., y Endres, L. (2010). Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. *Biomass Bioenergy*, 34(8), 1207-1215.

Porres, V., Cifuentes, R., y de León, E. (2014). Evaluación de tres tipos de cubierta para macrotúneles sobre el microclima y la productividad de chile pimienta (*Capsicum annum*) en Escuitla y Sololá. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 27, 11pp.

Quesada, G. (2015). Producción de Chile Dulce en Invernadero Bajo Diferentes Niveles de Agotamiento en la Humedad del Sustrato. *Revista Agronomía Costarricense*, 39(1), 25-36pp. Recuperado de <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/19542/19621>

Quintal, W. C., Pérez, A., Latournerie, L., May, C., Ruiz, E., y Martínez, A. J. (2012). Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista fitotecnia Mexicana*, 35(2), 155-160pp. Recuperado de <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/35-2/6a.pdf>

- Quiroga, A. M. (2016). *Respuesta a las aplicaciones de silicio en el cultivo de pepino (Cucumis sativus L.) variedad Modan, en condiciones de estrés hídrico bajo cubierta en Culiacán, Sinaloa* (Tesis de grado bachiller). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). Bogotá, Colombia. 71pp. Recuperado de <http://repository.udca.edu.co:8080/jspui/bitstream/11158/582/1/Tesis%20Andrea%20M%20Quiroga%20S%20-%20Ingenieria%20Agronomica.pdf>
- Rada, F., Jaimez, R. E., García-Núñez, C., Azócar, A., y Ramírez, M. E. (2005). Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo períodos de déficit hídrico. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 22, 112–120.
- Ramanjulu, S., y Sudhakar, C. (2000). Proline metabolism during dehydration in two mulberry genotypes with contrasting drought tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 157(1), 81–85. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(00\)80139-X](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80139-X)
- Rao, T. V. R., Gol, N. B., y Shah, K. K. (2011). Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Scientia Horticulturae*, 132(1), 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.09.032>
- Reche, J. (2011). *Cultivo de pepino en invernadero*. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 50 páginas. Recuperado de http://www.frutastejerina.com/pepino_invernadero.pdf
- Reho, A. (2015). *El pepino Sinaloense continúa escalando su exportación*. Recuperado de <http://www.hortalizas.com/horticultura-prottegida/el-pepino-sinaloense-continua-escalando-su-exportacion>
- Reyes, C. E. (2012). *Dinámica nutricional y rendimiento de pepino en sistemas hidropónicos con recirculación de la solución nutritiva* (Tesis de grado maestro en ciencias en horticultura). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 97pp. Recuperado de <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2012091409124897.pdf>
- Ribas, F., Cabello, M., Moreno, M., Moreno, A., y López-Bellido, L. (2000). Respuesta fisiológica de un cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) a distintas dosis de riego. *Investigación Agraria. Producción y protección vegetal*, 15(3), 18 páginas. Recuperado de http://www.inia.es/gcontrec/pub/ribas_1161155972406.pdf
- Rizhsky, L., Liang, H., y Mittler, R. (2002). The combined effect of drought stress and heat shock on gene expression in tobacco. *Plant Physiology*, 130(3), 1143–1151. <https://doi.org/10.1104/pp.006858>
- Roblero, A. C. (2007). *Producción de plántulas de chile jalapeño (Capsicum annum L.) bajo películas fotoselectivas* (Tesis de bachiller). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 67pp. Recuperado de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4784/T15998%20ROBLERO%20MORALES,%20AINER%20CLEIVER%20%20%20TESIS.pdf?sequence=1>

- Rodas. (2006). *Efectos del estrés por déficit hídrico en plantas*. Repositorio de objetos de aprendizaje de la Universidad de Sevilla. España. Recuperado de https://rodas5.us.es/file/4949d71b-4d3d-9e69-000a-1b76edf86560/1/texto_estres_hidrico_SCORM.zip/pagina_04.htm
- Rojas, J., Castillo, M. (2007). *Planeamiento de la agrocadena del tomate en la Región Central Sur de Costa Rica*. Puriscal, Costa Rica. 75 páginas. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00063.pdf>
- Rojas, G., Posadas, A., Quiroz, R., Holle, M. y Malaga, M. (2007). Secado parcial de raíces: una promisoriosa técnica de riego en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Zonas Áridas*, 11, 206-218. Recuperado de <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art15.pdf>
- Rojas, J y Paniagua, F. (2015). Comportamiento agronómico de *Capsicum annuum* L., *Lycopersicon esculentum* M. Y *Cucumis melo* L. Bajo cultivo protegido hidropónico utilizando la solución universal de Steiner (Tesis de grado Licenciatura). ITCR. San Carlos, Alajuela. 85pp
- Rosenberg, N. J., Blad, B. L., y Verma, S. B. (1983). *Microclimate: The biological environment*. 2nd. New York, Estados Unidos: John Wiley y Sons. 528 pp.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G., y Rea, E. (2008). Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *Revista HortScience*, 43(3), 730-736pp. Recuperado de <http://hortsci.ashspublications.org/content/43/3/730.full.pdf>
- Saibo, N. J. M., Lourenco, T., y Oliveira, M. M. (2009). Transcription factors and regulation of photosynthetic and related metabolism under environmental stresses. *Annals of Botany*, 103(4), 609–623. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn227>
- Salazar, W. (2016). *Efecto de la aplicación foliar y extracto de alga en pepino (Cucumis sativus L.) y chile dulce (Capsicum annuum L.) cultivados bajo ambiente protegido en Alajuela, Costa Rica* (Tesis de grado licenciatura). UCR. Alajuela, Costa Rica.
- Salisbury, F. (1992). Fisiología vegetal. *Iberoamérica*, 759.
- Sánchez, A., Reigosa, M. J. y Pedrol, N. (Eds). (2003). *La ecofisiología vegetal: Una ciencia de síntesis*. 1216 páginas. España: Ediciones Paraninfo S. A.
- Sánchez, C., Jaraba, D., Medina, J., Martínez, J., y Martínez, A. (2003). Requerimientos hídricos del ají dulce (*Capsicum annum* L.) bajo riego por goteo en el Valle del Sinu Medio. *Revista Temas Agrarios*, 8(1), 11-20pp. Recuperado de https://www.google.com/url?sa=tyrct=jyq=yesrc=sysource=webycd=9ycad=rjayuact=8yved=0ahUKEwjv88_cxtbTAhUSdiYKHYSJCLwQFghlMAgyurl=https%3A%2F%2Fdialnet.

unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F5002387.pdfyusg=AFQjCNHbXJL4ks5Y-TpN0cYO4Omi0_nWTwysig2=Ggn_aHV9lJyDvRZHIiOZig

- Santos, B. M., Salame, T. P., Obregón, H. A., Inestroza, J. E., Galeano, R., Sáenz, M. V., Monge, J. E., Cuevas, M. G., Torrez, E. A., y Méndez, C. J. (2011). Evaluation of planting densities and shoot pruning practices for indeterminate bell pepper production in Dominican Republic, Honduras, and Costa Rica. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 124, 191-193.
- Santos, D. (2002). *Efeitos da tensão de água no solo, na cultura do pepino (Cucumis sativus L.), utilizando sistema de irrigação automatizado*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras. Lavras, Brasil. 60 p.
- Schulze, E. D. (1986). Carbon dioxide and water vapour exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. *Annual Review of Plant Physiology*, 37, 247-274.
- Schwarz, M. (1985). The use of saline water in hydroponics. *Soiless Culture*, 1, 25-34.
- Sellers, P. J., Dickinson, R. E., Randall, D. A., Betts, A. K., Hall, F. G., Berry, J. A., Collatz, G. J., Denning, A. S., Mooney, H. A., Nobre, C. A., Sato, N., Field, C. B., y Henderson-Sellers, A. (1997). Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere. *Science*, 275, 502-509. Doi: 10.1126/science.275.5299.502
- Sensoy, S., Ertek, A., Gedik, I., y Kucukyumuk, C. (2007). Irrigation frequency and amount affect yield and quality of field-grown melon (*Cucumis melo* L.). *Agricultural Water Management*, 88(1-3), 269-274. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.015>
- Serna, A., Artemio, J., y Mena, J. (2011). Rendimiento y calidad de chile seco "Mirasol" Cultivado bajo riego parcial de la raíz. Serie Horticultura. *Revista Chapingo*, 17(1), 19-24pp. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttextypid=S1027-152X2011000400004
- Serna, A., y Zedge. (2012). Rendimiento, calidad de fruto y eficiencia en el uso del agua del chile "Mirasol" bajo riego deficitario. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(5), 53-56pp. Recuperado de http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/35-3_Especial_5/9a.pdf
- Serrano, Z. (1974). *Cultivos Hortícolas Enarenados*. Manuales Técnicos. Serie A. Número (46). Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid, España: Ministerio de Agricultura. 559 páginas.
- Sezen, S. M., Yazar, A., y Eker, S. (2006). Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. *Agricultural Water Management*, 81(1-2), 115-131. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.002>
- Singh, S. K., y Reddy, K. R. (2011). Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) under

drought. *Journal of Photochemistry and Photobiology Biology*, 105, 40-50 páginas. Doi: 10.1016/j.jphotobiol.2011.07.001

Singh, B., y Singh, G. (2006). Effects of controlled irrigation on water potential, nitrogen uptake and biomass production in *Dalbergia sissoo* seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 55(1–2), 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.11.001>

Smittle, D. A., Dickens, W. L., y Stansell, J. R. (1994). Irrigation regimes affect yield and water use by bell pepper. *J Amer Soc Hort Sci*, 119(5), 936-939.

Solórzano, M. (2013). *Atlas Nacional de Ambientes Protegidos de Costa Rica – 2008*. Informe final de la actividad para el fortalecimiento de la investigación y la extensión. 67 páginas. Cartago, Costa Rica. Recuperado de http://bibliodigital.itcr.ac.cr/bitstream/handle/2238/3154/atlas_nacional_ambientes_protegidos_cr.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., y Raes, D. (2012). *Crop yield response to water*. *Fao Irrigation and Drainage Paper Issn*. Retrieved from www.fao.org

Stikic, R., Popovic, S., Srdic, M., Savic, D., Jovanovic, Z., y Zdravkovic, J. (2003). Partial root drying (PRD): A new technique for growing plants that saves water and improves the quality of fruit. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 164–171.

Syngenta. (2016). *Ficha Técnica del Pimentón Híbrido Nathalie*. Caracas, Venezuela: Agroi sumos Granex C. A. Recuperado de <http://www.granex.com.ve/productos/productos/mostrar/idProducto/8/Piment%C3%B3n%20H%C3%ADbrido%20Nathalie%20Syngenta//idCategoria/3>

Swaminathan, M., y Kesavan, P. (2012). Agricultural research in an era of climate change. *Agricultural Research*, 1(1), 3–11. <https://doi.org/10.1007/s40003-011-0009-z>

Swire-Clark, G. A., y Marcotte, W. R. (1999). The wheat LEA protein Em functions as an osmoprotective molecule in *Saccharomyces cerevisiae*. *Plant Molecular Biology*, 39(1), 117–128. <https://doi.org/10.1023/A:1006106906345>

Taiz, L., y Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology (Fifth Edition)*. *Sinauer Associates* (Vol. 1).

Tambussi, E. A., Bartoli, C. G., Guiamet, J. J., Beltrano, J., y Araus, J. L. (2004). Oxidative stress and photodamage at low temperatures in soybean (*Glycine max* L. Merr.) leaves. *Plant Science*, 167(1), 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.02.018>

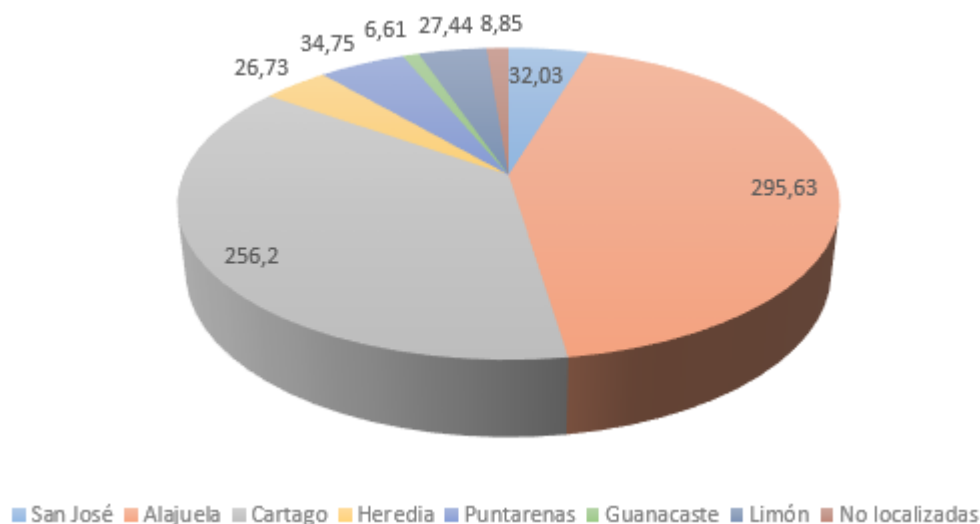
Tardieu, F., Zhang, J., y Gowing, D. J. G. (1993). Stomatal control by both (ABA) in the xylem sap and leaf water status: a test of a model for droughted or ABA-fed field-grown maize. *Plant, Cell y Environment*, 16, 413–420. doi:10.1111/j.1365-3040.1993.tb00887.x

- Taylor, S. H., Franks, P. J., Hulme, S. P., Spriggs, E., Christin, P. A., Edwards, E. J., Woodward, F., y Osborne, C. P. (2012). Photosynthetic pathway and ecological adaptation explain stomatal trait diversity amongst grasses. *New Phytologist*, 193(2), 387–396. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03935.x>
- Tesi, R. (2001). *Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo*. 288 páginas. Madrid, España: Mundi Prensa.
- Thomas, R. S., y Staub, J. E. (1992). Water stress and storage environment affect pillory fruit disorder in cucumber. *Journal American Society. Horticulture. Science*, 117(3), 394-399. Recuperado de <http://journal.ashspublications.org/content/117/3/394.full.pdf>
- Tituaña, F. (2013). Uso del Hongo *Trichoderma asperellum* en plántulas de pimiento (*Capsicum annum*) y su efecto sobre la supervivencia y productividad en el campo (Tesis de grado licenciatura). Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador. 51pp. Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2485/1/106815.pdf>
- Topcu, S., Kirda, C., Dasgan, Y., Kaman, H., Cetin, M., Yazici, A., y Bacon, M. A. (2007). Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation. *European Journal of Agronomy*, 26(1), 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.08.004>
- Turner, N. C. (1986). Crop Water Deficits: A Decade of Progress. *Advances in Agronomy*, 39(C), 1–51. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60464-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60464-2)
- Turner, N. C., y Jones, M. M. (1980). *Turgor maintenance by osmotic adjustment. A review and evaluation*. New York, Estados Unidos. 87-103pp.
- Ubi, B. E. (2004). External stimulation of anthocyanin biosynthesis in apple fruit. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 2(2), 65-70pp.
- Urrestarazu, M., Castillo, J. E., y Salas, M. del C. (2002). Técnicas culturales y calidad del pimiento. *Departamento Producción vegetal, Universidad de Almeria*, 159(marzo), 1–9.
- Vásquez, A. (2013). *Evaluación de Complejos de PAA-Quitosa con Quitosanos de Diferentes Pesos Moleculares en Melón (Cucumis melo L.) en Condiciones de Estrés Hídrico*. (Tesis de grado Bachiller). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Cohauila, Mexico. 66pp. Recuperado de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5858/T19826%20VAZQUEZ%20ESCOBAR,%20ADOLFO%20TESIS.pdf?sequence=1>
- Vela, M. C. (2010). *Caracterización Física, Química y Nutricional del Tomate Riñón (Lycopersium Esculentum), en diferentes Suelos Edafoclimáticos, cultivados a Campo Abierto e Invernadero, como un aporte a La Norma INEN. “Tomate Riñón Requisitos”* (Tesis de ingeniería en alimentos). Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador. Recuperado de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4851/1/41256_1.pdf

- Waller, P. (2004). *Microirrigación en invernaderos y sistemas de fertirrigación*. III Curso Internacional de Invernaderos. Tomo II. Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo. 17 p.
- Wehner, T. C., y Maynard, D. N. (2003). *Cucurbitaceae (Vine Crops)*. Doi: 10.1038/npg.els.0003723
- Xiong, L., Schumaker, K. S., y Zhu, J. (2002). Cell Signaling during Cold , Drought , and Salt Stress. *Plant Cell, supplement*, S165–S184. <https://doi.org/10.1105/tpc.000596.S166>
- Yang, X., Wang, X., Wei, M., Hikosaka, S., y Goto, E. (2009). Changes in growth and photosynthetic capacity of cucumber seedlings in response to nitrate stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 21(4), 309-317.
- Zamora, M., Peña, R., y Verdecía, M. (2014). Respuesta del pepino a un manejo variable del riego. Campechuela, Granma, Cuba. *Centro Agrícola*, 41(1), 5-11pp. Recuperado de http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V41-Numero_1/cag021141953.pdf
- Zamudio, B., y Felix, A. (2014). *Producción de pepino bajo invernadero en Valles Altos del Estado de México*. Folleto Técnico. Sitio Experimental Metepec, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias (INIFAP). 56 páginas. Recuperado de http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/15/2013/anuales/anu_2033-25-2014-05-1.pdf
- Zare, B., Peywast, G., Ghasemnezhad, M., y Forghani, A. (2015). Assessment of Salt Tolerance in Pepper Using Chlorophyll Fluorescence and Mineral Compositions. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 80(3), 6pp.
- Zegbe, A. J., Behboudian, M. H., Lang, A., y Clothier, B. E. (2007). Respuesta del manzano "Pacific Rose TM" al riego parcial de la raíz. Serie Horticultura. *Revista Chapingo*, 13(1), 43-48pp. Chapingo, México. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60913106>
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q., y Yu, J. (2004). Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167(3).
- Zwaan, R. (2015). *Modan RZ F1 (22-951)*. Empresa semillera. Recuperado de <https://www.rijkszwaan.es/busca-tu-variedad/pepino/modan-rz>

ANEXOS

Anexo 1.



Distribución de ambientes protegidos en el país, según cada provincia.

Fuente: (Solórzano e ITCR, 2013).

Anexo 2.

Caracterización general de la infraestructura productiva nacional y del equipo en ambientes productivos, según la proporción de productores que atiende cada punto (Solórzano e ITCR, 2013).

Diseño	%	Producción	%	Gestión del Clima	%
Bodega	50,80	Cenitales	8,61	Meteorología	2,04
Comedor	9,20	Fertirriego	27,88	Pantalla termo-refractiva	0,58
Germinador	11,24	Nebulizadores	11,82	Sensor de conductividad	4,09
Lavandería	4,23	Pileta desinfección	12,41	Sensores CO ₂	0,73
Oficina	13,72	Pozo	17,08	Termómetros	12,26
Post-cosecha	10,80	Puerta de acceso	60,44	Ventiladores	5,40
Refrigeración	4,53	Reservorios de agua	22,04		
Sanitarios	28,47	Riego	50,95		
Vestidores	8,91				

Anexo 3.

Análisis proximal del fruto de chile dulce por cada 100g de producto (Gebhardt, Cutrufelli y Matthews, 1978).

Elemento	Estado de desarrollo	
	Verde	Rojo
Agua (ml)	86	87
Calorías (cal)	48	45
Proteína (g)	2	2
Grasa (g)	0,8	0,08
Fibra (g)	2,6	1,7
Calcio (mg)	29	11
H. carbono (g)	10	9
Fósforo (mg)	61	47
Hierro (mg)	2,6	0,9
B-Caroteno (UI)	180	4770
Tiamina (mg)	0,17	0,09
Riboflavina (mg)	0,15	0,12
Niacina (mg)	2,2	0,4
Ac. Ascórbico (mg)	140	86

Anexo 4.

Etapas fenológicas y de desarrollo del cultivo de chile dulce

Germinación y emergencia: El período de preemergencia varía entre 8 y 12 días, y es más rápido cuando la temperatura es mayor. Casi cualquier daño que ocurra durante este período tiene consecuencias letales y ésta es la etapa en la que se presenta la mortalidad máxima.

Crecimiento de la plántula: Luego del desarrollo de las hojas cotiledóneas, inicia el crecimiento de las hojas verdaderas, que son alternas y más pequeñas que las hojas de una planta adulta. De aquí en adelante, se detecta un crecimiento lento de la parte aérea, mientras la planta sigue desarrollando el sistema radicular, es decir, alargando y

profundizando la raíz pivotante y empezando a producir algunas raíces secundarias laterales. La tolerancia de la planta a los daños empieza a aumentarse, pero todavía se considera que es muy susceptible.

Crecimiento vegetativo: A partir de la producción de la sexta a la octava hoja, la tasa de crecimiento del sistema radicular se reduce gradualmente; en cambio la del follaje y de los tallos se incrementa, las hojas alcanzan el máximo tamaño, el tallo principal se bifurca y a medida que la planta crece, ambos tallos se ramifican. Generalmente la fenología de la planta se resume en: germinación y emergencia, crecimiento de la plántula, crecimiento vegetativo rápido, floración y fructificación. Si se va a sembrar por trasplante, éste debe realizarse cuando la plántula está iniciando la etapa de crecimiento rápido. La tasa máxima de crecimiento se alcanza durante tal período y luego disminuye gradualmente a medida que la planta entra en etapa de floración y fructificación y los frutos en desarrollo empiezan a acumular los productos de la fotosíntesis.

Floración y fructificación: Al iniciar la etapa de floración, el chile dulce produce abundantes flores terminales en la mayoría de las ramas, aunque debido al tipo de ramificación de la planta, parece que fueran producidas en pares en las axilas de las hojas superiores. El período de floración se prolonga hasta que la carga de frutos cuajados corresponda a la capacidad de madurarlos que tenga la planta. Bajo condiciones óptimas, la mayoría de las primeras flores produce fruto, luego ocurre un período durante el cual la mayoría de las flores aborta (Orellana *et al.*, 2001).

A medida que los frutos crecen, se inhibe el crecimiento vegetativo y la producción de nuevas flores. Cuando los primeros frutos empiezan a madurar, se inicia una nueva fase de crecimiento vegetativo y de producción de flores. De esta manera, el cultivo de chile dulce tiene ciclos de producción de frutos que se traslapan con los siguientes ciclos de floración y crecimiento vegetativo. Este patrón de fructificación da origen a frutos con distintos grados de madurez en las plantas, lo que usualmente permite cosechas semanales o bisemanales durante un período que oscila entre 6 y 15 semanas, dependiendo del manejo que se dé al cultivo.

El mayor número de frutos y los frutos de mayor tamaño se producen durante el primer ciclo de fructificación, aproximadamente entre los 90 y 100 días. Los ciclos posteriores tienden a producir progresivamente menos frutos o frutos de menor tamaño, como resultado del deterioro y agotamiento de la planta (Orellana *et al.*, 2001)

Anexo 5.

Fases fenológicas del cultivo de pepino (FUSADES, 1990).

Estado fenológico	Días después de la siembra
Emergencia	4 a 6
Inicio emisión de guías	15 a 24
Inicio de floración	27 a 34
Inicio de cosecha	43 a 50
Terminación de cosecha	75 a 90

Anexo 6.

Análisis nutricional en 100g de pepino (Franquez, 2016)

Compuesto	Valor proximal
Hierro	0,20mg
Proteína	0,63g
Calcio	18,45mg
Fibra	0,70g
Potasio	140mg
Yodo	0,30mg
Zinc	0,14mg
Carbohidratos	1,90g
Magnesio	7,30mg
Sodio	3mg
Vitamina A	28,17µg
Vitamina B1	0,04mg
Vitamina B2	0,03mg
Vitamina B3	0,36mg
Vitamina B5	0,26µg
Vitamina B6	0,04mg
Vitamina B7	0,90µg
Vitamina B9	19,40µg
Vitamina C	7mg
Vitamina E	0,39mg
Vitamina K	13µg
Fósforo	23mg
Grasa	0,20g
Azúcar	1,80g
Purinas	7,30mg
Calorías	13,23kcal

Anexo 7.

Temperatura óptima requerida según etapa fenológica, para el cultivo del pepino (Zamudio y Félix, 2014).

Temperatura	°C
Temperatura óptima día	20-25°C
Temperatura óptimo noche	18-22°C
Temperatura óptima de desarrollo	19-21°C
Temperatura óptima de floración	16-35°C
Temperatura mínima de maduración del fruto	16-19°C
Temperatura mínima biológica	10-12°C
Temperatura de detención de la vegetación del suelo	12°C
Temperatura mínima letal	(-1°C)

Anexo 8.

Rangos de humedad adecuados para el desarrollo del cultivo de pepino (Zamudio y Félix, 2014).

Humedad relativa	%
Humedad relativa al inicio del desarrollo	65-90%
Humedad relativa en floración	50-80%
Humedad relativa en fructificación	50-65%
Humedad relativa óptima a 25°C	50-80%
Humedad relativa óptima a 32°C	90%

Anexo 9.

Principales países productores de pepino para el año 2012 (Chacón, 2015)

Número	País	Producción TM
1	China	48.048.832
2	Turquía	1.741.878
3	Iran (Islámico)	1.600.000
4	Ucrania	1.281.788
5	Federación Rusa	1.020.600
6	Estados Unidos	901.060

Anexo 10.

Propiedades físicas y químicas de la fibra de coco (Martínez y Soriano, 2014).

Propiedades físicas	Valor
Materia Seca	73,67
Porosidad total, %	90,68%
Densidad aparente, g/ml	0,14
Potencial Osmótico, kPa	-87,12
Propiedades Químicas	
pH	6,07
Materia orgánica total	94,58
Conductividad eléctrica, dS/m	2,42
Macronutrientes	
Nitratos, ppm	0,96
Fosforo, ppm	44,94
Potasio, ppm	333,87
Calcio, ppm	19,15

Anexo 11.

Compatibilidad entre los fertilizantes más utilizados en fertirrigación. C=Compatible, X=Compatible en su momento de empleo, I=Incompatible (CREA, 2015).

Fertilizantes	Nitrato amónico	Sulfato amónico	Solución nitrogenada	Úrea	Nitrato cálcico	Nitrato potásico	Fosfato monoamónico o biamónico	Ácido fosfórico	Sulfato potásico	Cloruro potásico	Fosfato monopotásico	Sulfato de magnesio
Nitrato amónico		C	X	X	I	C	X	X	C	C	C	C
Sulfato amónico	C		C	X	I	C	I	I	C	C	C	C
Solución nitrogenada	X	C		X	X	C	X	X	C	C	C	C
Úrea	X	X	X		X	X	X	X	C	C	X	X
Nitrato cálcico	I	I	X	X		C	I	I	I	C	I	I
Nitrato potásico	C	C	C	X	C		C	C	C	C	C	X
Fosfato monoamónico o biamónico	X	I	X	X	I	C		C	C	C	C	C
Ácido fosfórico	X	I	X	X	I	C	C		C	C	C	C
Sulfato potásico	C	C	C	C	I	C	C	C		C	C	C
Cloruro potásico	C	C	C	C	C	C	C	C	C		C	C
Fosfato monopotásico	C	C	C	X	I	C	C	C	C	C		X
Sulfato de magnesio	C	C	C	X	I	X	C	C	C	C	C	

Anexo 12.

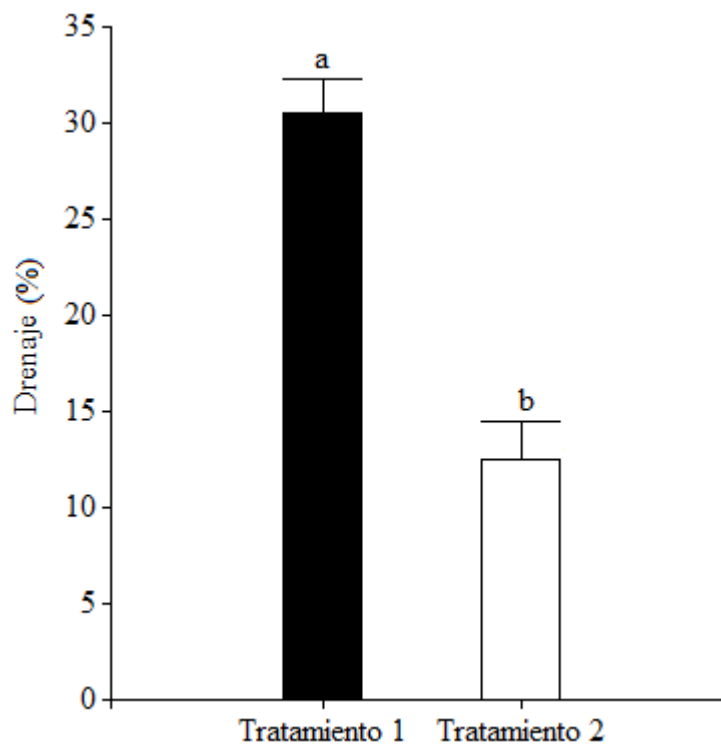
Plan de fertilización basado en los principios de extracción de nutrimentos en las diferentes fases fenológicas.

Solución Madre	PRODUCTO	FASE FENOLOGICA				
		<i>Transplante a bifurcación</i>	<i>Bifurcación- Antesis</i>	<i>Antesis- Cuaje de 3</i>	<i>De 3 frutos a 10 frutos</i>	<i>10 frutos en adelante</i>
		Cantidad a preparar de solución madre (g y ml)				
		10 L	10 L	10 L	10 L	10 L
A	Nitrato de Calcio	293,76	307,80	349,31	391,19	391,19
	Cloruro de Calcio	27,22	33,88	12,94	0,00	0,00
	Nitrato de Potasio	0,00	40,78	72,84	58,80	96,30
	Cloruro de Potasio	13,76	0,00	30,15	53,50	56,07
	Urea	4,95	5,68	6,89	7,40	8,00
	Hierro EDTA (gr)	33,36	12,95	12,90	12,95	12,90
	Hierro EDTA (ml)	3,96	24,00	28,00	29,00	0,00
	Ácido Nítrico 67% (ml)	102,87	3,96	3,96	4,00	4,00
B	Fosfato Monopotásico	92,05	102,87	102,87	102,87	102,87
	Sulfato de potasio	158,47	114,96	83,05	94,80	85,30
	Sulfato de Magnesio	7,61	158,47	158,47	203,10	225,43
	Auge Molibdeno (ml)	0,00	7,61	7,61	7,61	7,61
	Ácido Bórico	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04
	Sulfato de Cobre	0,36	0,36	0,36	0,40	0,36
	Manganeso EDTA (gr)	6,70	4,78	4,78	4,80	4,78
	Manganeso EDTA (ml)	0,00	3,80	3,60	7,60	0,00

Anexo 13.

Promedios (\pm DE) del drenaje obtenido de las plantas de chile dulce en dos tratamientos durante el desarrollo del cultivo. Medias de los tratamientos según momento de medición con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de *t*, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

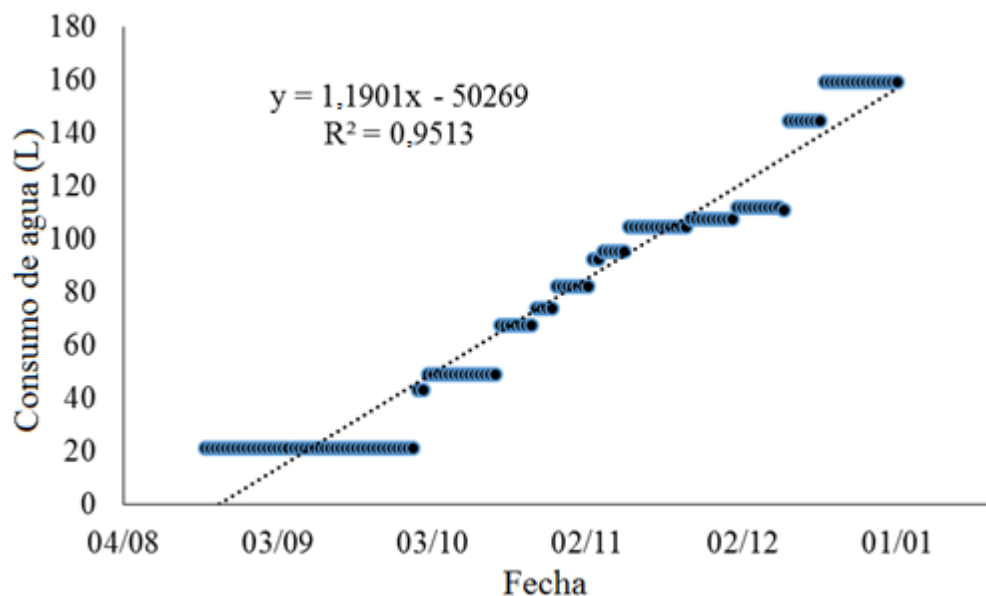
En la variable drenaje de las plantas de chile dulce, el tratamiento 1 fue superior al tratamiento 2, encontrando diferencias significativas entre sí ($p < 0,0001$) (Anexo 13).



Anexo 14.

Consumo de agua requerido en el cultivo de chile dulce tratamiento 1. (Regresión lineal, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

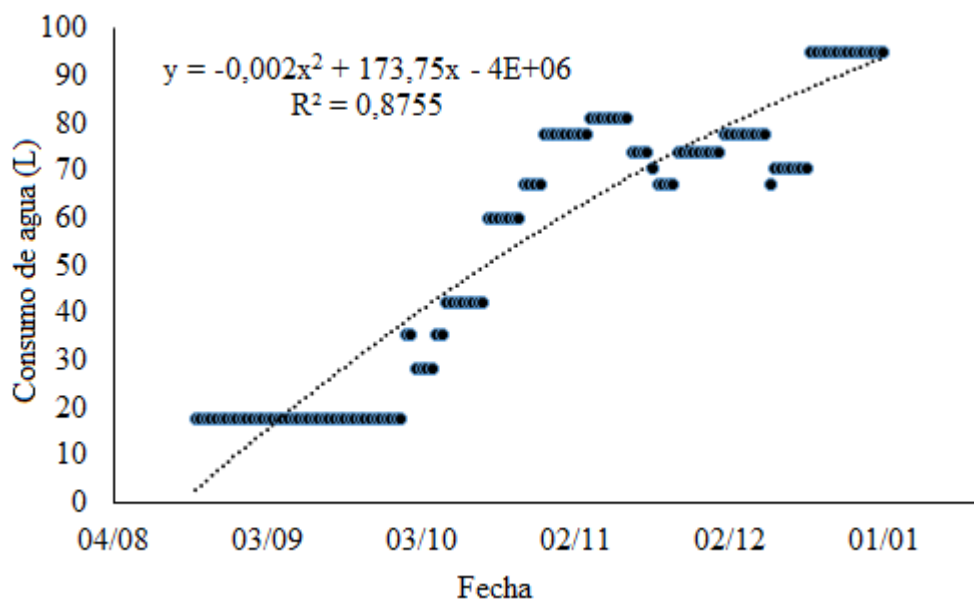
Al analizar el Anexo 14, se observa una curva del tipo lineal $R=0,9513$, además la pendiente 1,1901 indica que no hubo un cambio muy acentuado en la cantidad de litros suministrados por cada unidad en el tiempo.



Anexo 15.

Consumo de agua requerido en el cultivo de chile dulce tratamiento 2. (Regresión lineal, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

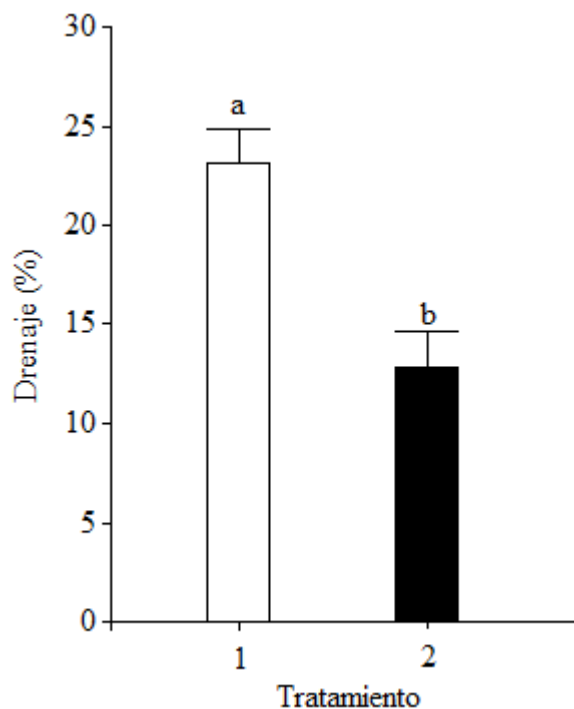
Para el suministro de agua en el tratamiento 2 (Anexo 15), se observa una curva del tipo polinómico del segundo orden $R=0,8755$, con dos pendientes una negativa $-0,002$ señalando que existió una pendiente decreciente entre noviembre y diciembre la cual redujo el suministro de agua en el tiempo, y además la siguiente pendiente $173,75$ explica que existieron cambios muy acentuados en el aporte diario en el agua entre octubre y noviembre principalmente.



Anexo 16.

Promedios (\pm DE) del drenaje obtenido de las plantas de pepino en dos tratamientos durante el desarrollo del cultivo. Medias de los tratamientos según momento de medición con letras iguales no difieren entre sí. (Prueba de T, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

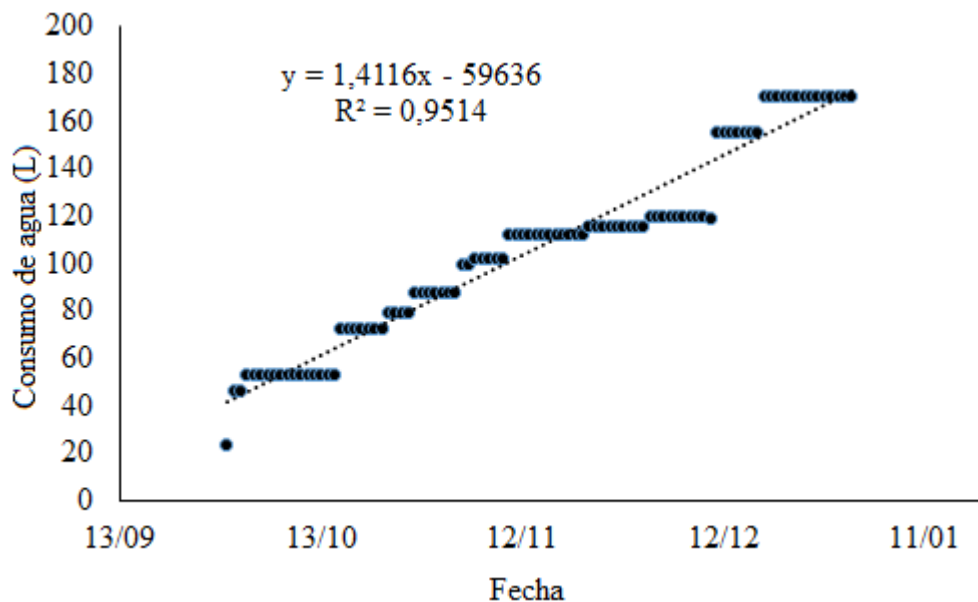
En la variable drenaje de las plantas de pepino, el tratamiento 1 fue superior al tratamiento 2, encontrando diferencias significativas entre sí ($p < 0,0001$), (Anexo 16).



Anexo 17.

Consumo de agua requerido en el cultivo de pepino para el tratamiento 1. (Regresión lineal, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

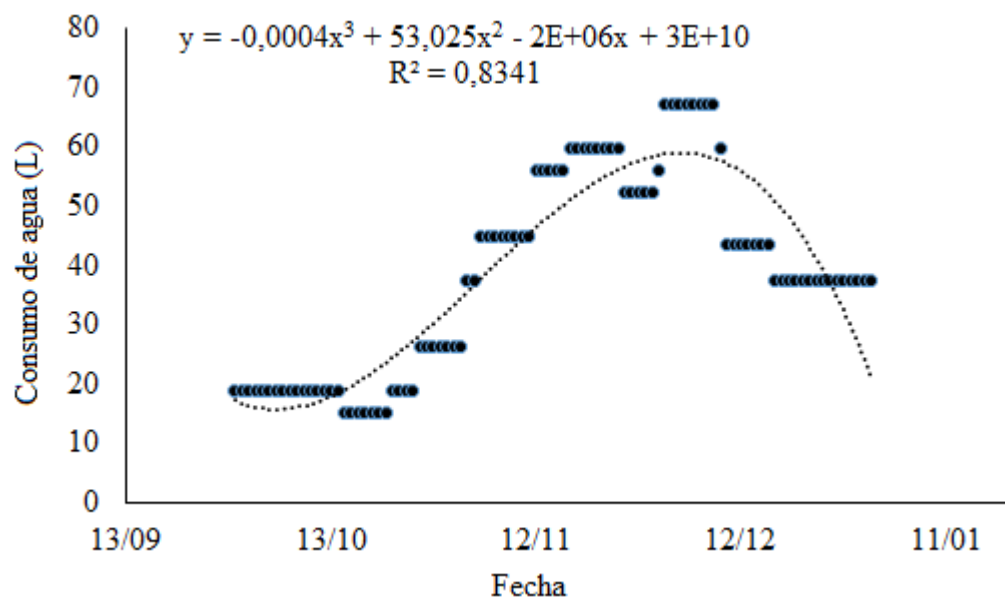
Al analizar el tratamiento 1, (Anexo 17), se observa una curva del tipo lineal $R=0,9514$ determinando una curva muy regular a una lineal, además la pendiente 1,4116 indica que hubo un promedio de 1,4116 veces más de suministro de litros por cada unidad de tiempo.



Anexo 18.

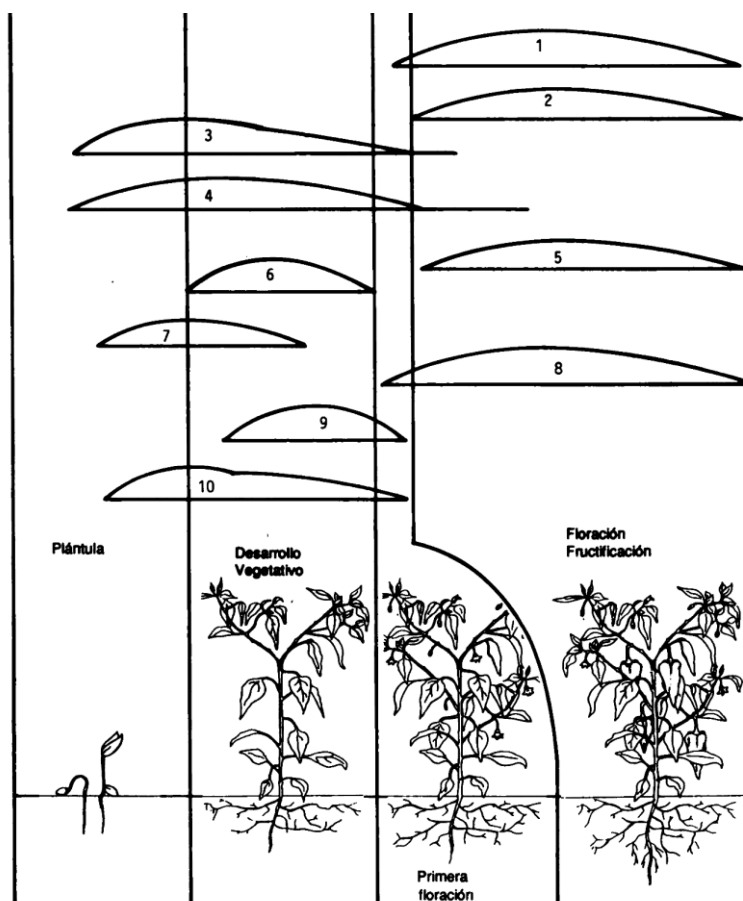
Consumo de agua requerido en el cultivo de pepino para el tratamiento 2. (Regresión lineal, $p < 0,05$). FESL (De agosto 2015 a enero 2016).

Para el suministro de agua en el tratamiento 2 (Anexo 18.), se observa una curva del tipo polinómico del tercer orden con una $R=0,8341$, la primera pendiente negativa $-0,0004$ señalando que existió una leve pendiente decreciente entre setiembre y octubre la cual redujo el suministro de agua en el tiempo, la siguiente pendiente $53,025$ explica que existieron aumentos en el aporte del agua y la unidad de tiempo entre octubre y noviembre principalmente. La última pendiente negativa indica un decrecimiento en $0,6$ en el suministro diario, entre diciembre y enero.



Anexo 19.

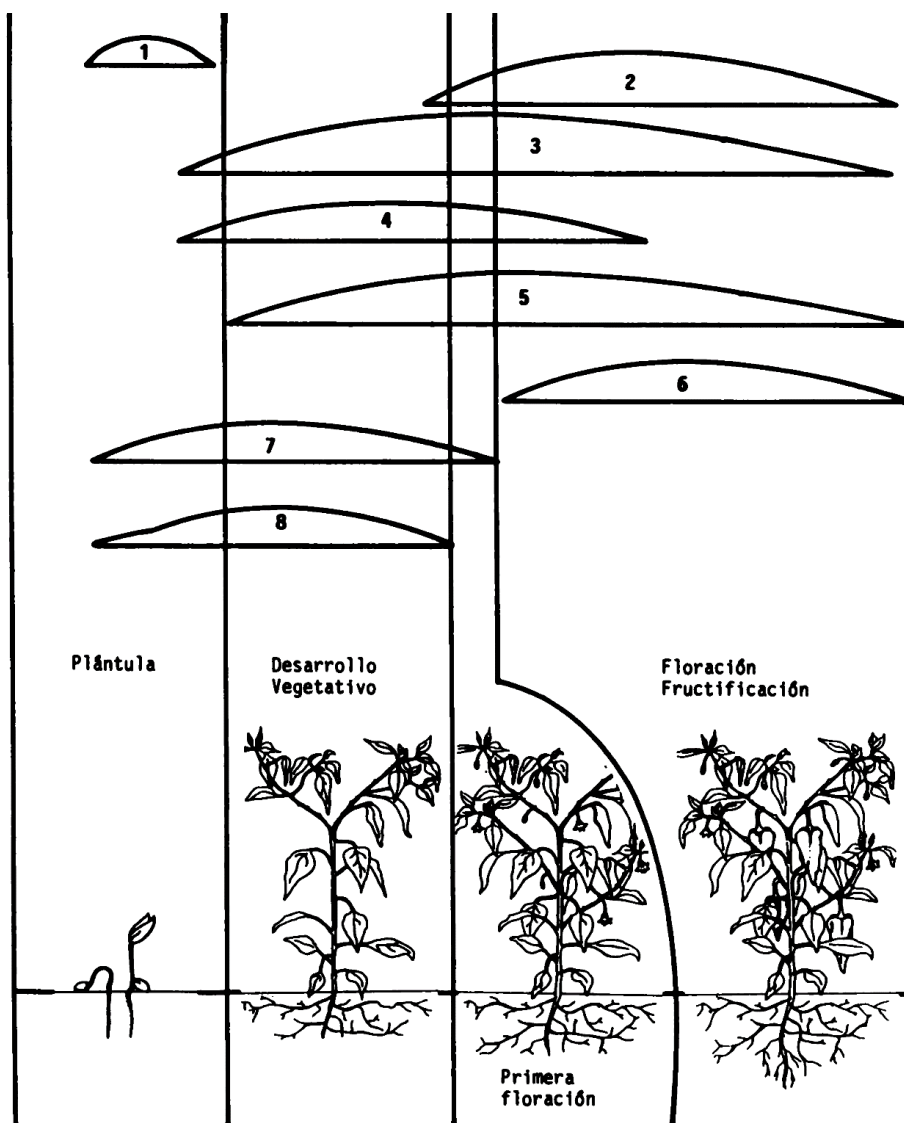
Principales plagas de insectos que afectan el cultivo de chile dulce con sus umbrales distribuidos según la fenología de la planta (CATIE, 1993).



- | | |
|---|--|
| 1. Picudo (<i>Authonomus</i>) | 6. Defoliadores de los géneros <i>Manduca</i> y <i>Spodoptera</i> |
| 2. Mosca del chile (<i>Neosilba</i>) | 7. Cortadores (<i>Agrotis</i> ; <i>Feltia</i> ; <i>Spodoptera</i>) |
| 3. Vaquita (<i>Diabrotica</i>) | 8. Arañita roja (<i>Tetranychus</i>) |
| 4. Afidos (<i>Myzus</i> ; <i>Aphis</i>) | 9. Acaro blanco (<i>Polyphagotarsonemus</i>) |
| 5. Gusanos del fruto (<i>Spodoptera</i> ; <i>Estigmene</i> ; <i>Heliothis</i> ; <i>Manduca</i>) | 10. Mosca blanca (<i>Bemisia</i>) |

Anexo 20.

Principales patógenos que afectan el cultivo de chile dulce con sus umbrales distribuidos según la fenología de la planta (CATIE, 1993).



1. Mal del talluelo (*Pythium*; *Rhizoctonia*; *Phytophthora*)
2. Marchitez fungosa (*Fusarium* *Sclerotium*; *Phytophthora*)
3. Marchitez bacteriana (*Pseudomonas*)
4. Foliares bacteriales (*Pseudomonas*; *Xanthomonas*)
5. Mancha cercóspora (*Cercospora*)
6. Podredumbre el fruto (*Colletotrichum*; *Erwinia*; *Pseudomonas*)
7. Virosis (PVY; TEV; TMV)
8. Nematodos (*Meloidogyne*; *Nacobbus*)

Anexo 21.



Estación meteorológica HOBO U30 instalada dentro del ambiente protegido de la UNA en la FESL

Anexo 22.

Registro meteorológico diario de la RFA expresado en micromoles (μmol por metro cuadrado por segundo), temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura promedio en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%) de la estación HOBO U30 dentro del ambiente protegido, para el periodo 15 de agosto a 16 enero.

La curva de RFA máxima y promedio fue muy irregular a lo largo de todo el periodo de cultivo. Los mayores niveles de RFA máximas, se presentaron el 17 de agosto, 23 de agosto, 2 de setiembre, 5 de setiembre y el 25 de setiembre. Los menores niveles RFA máximos se presentaron los días 10 de setiembre, 12, de setiembre y 21 de noviembre. Los niveles de RFA promedios diarios se mantuvieron constantes a lo largo del estudio, aunque se observa un aumento considerable a partir del 27 de noviembre hasta finalizar el periodo de cultivo. Los niveles mínimos de RFA diario se mantuvieron invariantes en $0,36\mu\text{mol}$ a lo largo de todo el estudio.

Los registros más altos de temperatura máxima se reportan en el 21 de agosto, 1 de octubre y 16 de enero, asimismo el 19 de diciembre se reporta la menor temperatura máxima. Los niveles más bajos temperatura mínima fueron reportados el 1 de diciembre y 9 de enero. Las fluctuaciones en la temperatura fueron muy constantes a lo largo del periodo de cultivo excepto en el rango 10 de octubre a 28 de noviembre, donde las temperaturas fueron más estables, tanto para la temperatura máxima, mínima y promedio.

La humedad relativa máxima diurna se mantuvo constante desde el 18 de setiembre al 21 de noviembre, el resto de los meses de cultivo los cambios de la humedad fueron muy frecuentes. Los cambios en la humedad relativa promedio fueron muy frecuentes, se presentó un aumento gradual de la temperatura a partir del 3 de octubre hasta el 21 de noviembre que alcanza el mayor registro, después la humedad promedio comienza a decrecer y alcanzar los menores niveles de humedad el 10 de enero. La humedad mínima tuvo el mismo comportamiento que la temperatura promedio.

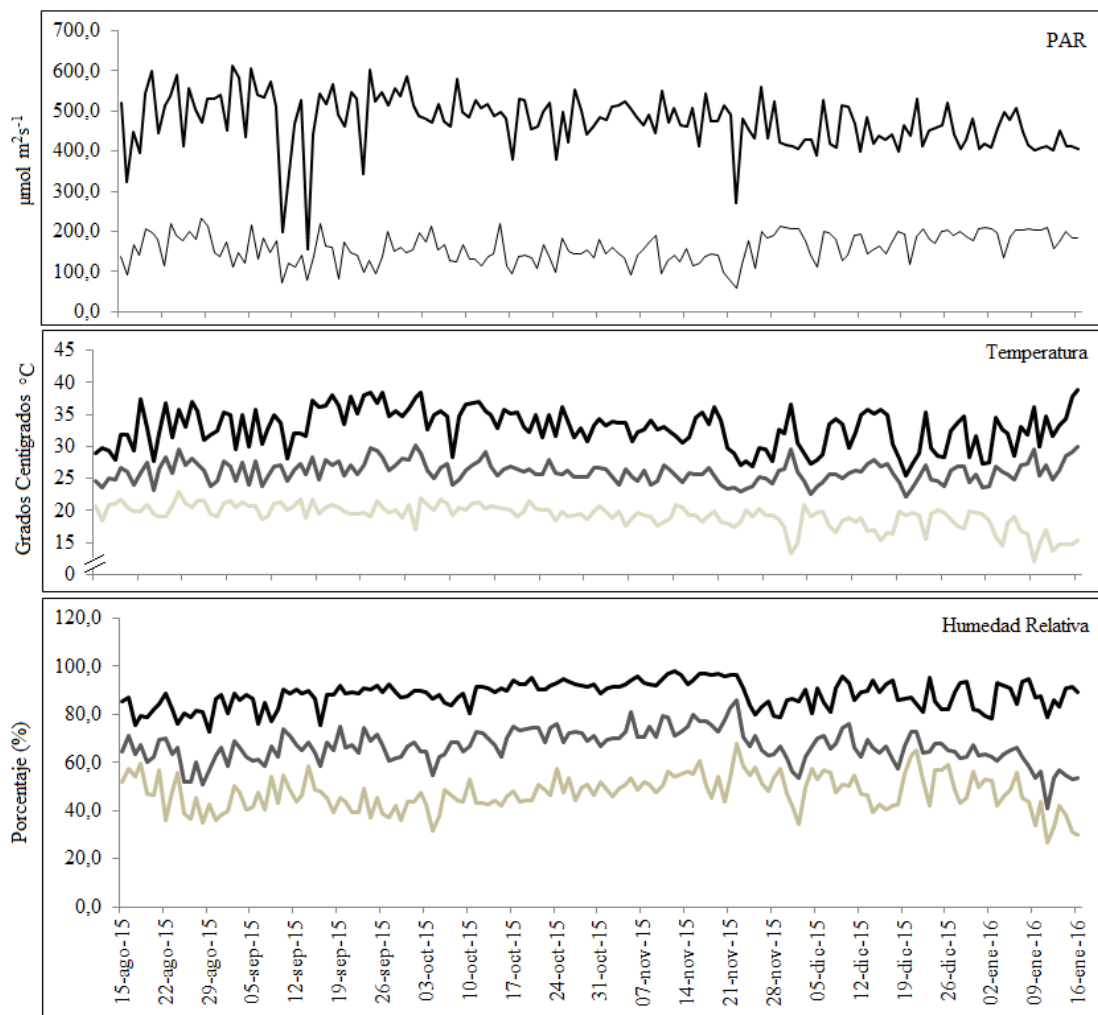
Para la variable meteorológica RFA nocturna máxima registrada por la estación HOBO, se observa una mayor radiación suministrada a las plantas desde el 15 de agosto hasta el 2 de diciembre, en este rango de días la radiación fue muy variada, después de esa fecha la radiación nocturna se disminuye en una curva constante hasta mediados de enero. La mayor RFA máxima se obtuvo el 4 de diciembre, así el 16 de enero se reporta el menor valor. La RFA promedio y mínima se mantuvo constante en un nivel promedio de $2\mu\text{mol}$ hasta $0,36\mu\text{mol}$.

La temperatura máxima fue más constante que la temperatura promedio o mínima en el ciclo de cultivo. El máximo valor de temperatura máxima nocturna alcanzó los $24,65^{\circ}\text{C}$ el 25 de setiembre, mientras que la mínima temperatura máxima estuvo en $18,46^{\circ}\text{C}$ el 29 de noviembre. Para la temperatura promedio se observa una curva con frecuentes variaciones no muy grandes, hasta llegar al 29 de noviembre donde existió un aumento y una disminución muy fuerte y frecuente de temperatura, el 3 de octubre se registra la máxima temperatura promedio, mientras que las menores se presentaron el 29 de

noviembre y 9 de enero. La temperatura mínima tuvo el mismo comportamiento que la curva de la temperatura promedio coincidiendo los valores máximos y mínimos con las fechas correspondientes.

La humedad relativa máxima fue muy irregular del 15 de agosto al 19 de setiembre, desde ese día hasta el 21 de noviembre los niveles de humedad fueron muy estables en ese rango de días, se observa el 8 de noviembre los mayores niveles de humedad máxima. Del 21 de noviembre al 16 de enero la humedad tuvo frecuentes fluctuaciones. Los menores valores de humedad se registran el 23 de agosto, 7 de setiembre, 13 de setiembre, 23 de noviembre, 5 de diciembre, 19 de diciembre, 25 de diciembre, 2 de enero y 9 de enero. La humedad relativa promedio y mínima, tuvo el mismo comportamiento en las curvas coincidiendo sus valores máximos y mínimos en sus fechas (Anexo 22).

Registros de radiación fotosintéticamente activa, temperatura y humedad relativa en el invernadero de la Finca Experimental Santa Lucía, Heredia.



Anexo 23.

Resumen de las condiciones meteorológicas registradas en la estación meteorológica HOBO U30 dentro del ambiente protegido presentes a lo largo del periodo 15 agosto a 16 de enero 2016.

Temperatura diurna promedio (°C)			Temperatura nocturna promedio (°C)		
Promedio	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima
25,63	32,12	19,50	18,77	21,29	17,04

Humedad relativa diurna promedio (%)			Humedad relativa nocturna promedio (%)		
Promedio	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima
52,40	79,96	37,87	77,28	82,87	68,73

RFA diurna promedio (W/m²)			RFA nocturna promedio (W/m²)		
Promedio	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima
160,86	482,20	0,36	2,12	49,29	0,36

Anexo 24.



Sistemas IRGA del tipo abierto para la medición de intercambio gaseoso. LI-6400 (Li-Cor, Nebraska, EE. UU.)

Anexo 25.

Resumen del análisis estadístico para el cultivo de chile dulce. * = existieron diferencias significativas.

Variable	Tratamiento 1	D.E (±)	Tratamiento 2	D.E (±)	Prob.	
Diámetro de tallo según tratamiento (mm)	12,42a	0,13	12,34a	0,13	0,6408	
Diámetro de tallo según fecha (mm)						
Momento 1	10,93a	0,22	10,93a	0,22	<0,0001	*
Momento 2	11,85b	0,22	11,55b	0,22	<0,0001	*
Momento 3	14,49c	0,22	14,54c	0,22	<0,0001	*
Altura de las plantas (m)	2,00a	0,03	1,85b	0,03	0,0002	*
Días a primera cosecha (días)	90,57a	0,42	89,2b	0,42	0,0256	*
Rendimiento en área (kg/m²)	6,94a	0,23	6,73a	0,23	0,5180	
Grados Brix (°Bx)	6,28a	0,17	6,37a	0,17	0,7067	
Número de frutos por planta	20,43a	0,72	20,80a	0,72	0,7214	
Peso del fruto (g)	127,98a	1,99	121,85b	1,99	0,0324	*
Frutos categoría especial	0,97a	0,18	0,61a	0,018	0,1548	
Frutos categoría primera	5,50a	0,33	4,5b	0,033	0,0358	*
Frutos categoría segunda	9,63a	0,59	12,45b	0,59	0,0010	*
Frutos categoría tercera	3,59a	0,33	2,59b	0,33	0,0331	*
Frutos categoría rechazo	0,72a	0,14	0,65a	0,14	0,7336	
Fotosíntesis según tratamiento (mmol CO₂m⁻²s⁻¹)	23,14a	0,66	21,84a	0,66	0,1763	
Fotosíntesis según fenología (mmol CO₂m⁻²s⁻¹)						
Etapa Vegetativa	25,00c	0,85	23,42bc	0,85	0,0009	*
Etapa Reproductiva	21,27ab	1,01	20,27a	1,01	0,0009	*
Conductancia estomática según tratamiento (mol H₂O m⁻²s⁻¹)	1,01a	0,07	0,93a	0,07	0,3960	
Conductancia estomática según fenología (mol H₂O m⁻²s⁻¹)						
Etapa Vegetativa	1,29b	0,08	1,11b	0,08	<0,0001	*
Etapa Reproductiva	0,72a	0,10	0,75a	0,10	<0,0001	*
Transpiración según tratamiento (mmol H₂O m⁻²s⁻¹)	7,59a	0,26	6,96a	0,26	0,1028	
Transpiración según fenología (mmol H₂O m⁻²s⁻¹)						
Etapa Vegetativa	8,51b	0,34	7,34a	0,34	0,0016	*
Etapa Reproductiva	6,67a	0,41	6,58a	0,41	0,0016	*

EUA según tratamiento	3,11a	0,09	3,14a	0,09	0,8173	
EUA según fenología						
Etapa Vegetativa	2,98a	0,12	3,21a	0,12	0,5728	
Etapa Reproductiva	3,25a	0,14	3,08a	0,14	0,5728	
Fluorescencia (Fv/Fm)	0,73a	0,02	0,72a	0,02	0,4943	

Anexo 26.

Resumen del análisis estadístico para el cultivo de pepino. * = existieron diferencias significativas.

Variable	Tratamiento 1	D.E (±)	Tratamiento 2	D.E (±)	Prob.	
Diámetro de tallo según tratamiento (mm)	9,69a	0,11	9,28b	0,11	0,0090	*
Diámetro de tallo según fecha (mm)						
Momento 1	8,10a	0,15	8,42a	0,15	<0,0001	*
Momento 2	10,28cd	0,15	9,53b	0,15	<0,0001	*
Momento 3	10,68d	0,15	9,88bc	0,15	<0,0001	*
Altura de las plantas (m)	4,19a	0,09	3,83b	0,09	0,0035	*
Días a primera cosecha (Días)	48	0,00	48	0,00	s.d	
Rendimiento en área (kg/m²)	7,76a	0,29	7,10a	0,29	0,1024	
Grados Brix (°Bx)	2,50a	0,12	2,57a	0,12	0,6903	
Número de frutos por planta	11,43a	0,53	10,84a	0,53	0,4291	
Peso del fruto (g)	254,62a	5,51	255,01a	5,51	0,9609	
Frutos categoría primera	4,84a	0,38	5,09a	0,38	0,6463	
Frutos categoría segunda	4,34a	0,24	4,95a	0,24	0,2035	
Frutos categoría tercera	1,00a	0,16	0,63a	0,16	0,1141	
Frutos categoría rechazo	0,52a	0,12	0,38a	0,12	0,4277	
Fotosíntesis según tratamiento (mmol CO₂m⁻²s⁻¹)	20,23a	0,67	20,51a	0,67	0,7630	
Fotosíntesis según fenología (mmol CO₂m⁻²s⁻¹)						
Etapa Vegetativa	18,78a	0,94	20,11ab	0,94	0,061	
Etapa Reproductiva	21,67b	0,94	20,92ab	0,94	0,061	
Conductancia estomática según tratamiento (mol H₂O m⁻²s⁻¹)	0,75a	0,07	0,87a	0,07	0,261	
Conductancia estomática según fenología (mol H₂O m⁻²s⁻¹)						

Etapa Vegetativa	0,62a	0,10	0,86a	0,10	0,175	
Etapa Reproductiva	0,88a	0,10	0,88a	0,10	0,175	
Transpiración según tratamiento (mmol H₂O m⁻²s⁻¹)	6,39a	0,39	7,07a	0,39	0,236	
Transpiración según fenología (mmol H₂O m⁻²s⁻¹)						
Etapa Vegetativa	6,18a	0,56	7,55a	0,56	0,646	
Etapa Reproductiva	6,61a	0,56	6,59a	0,56	0,646	
EUA según tratamiento	3,27a	0,13	2,97a	0,13	0,101	
EUA según fenología						
Etapa Vegetativa	3,25ab	0,18	2,73a	0,18	0,246	
Etapa Reproductiva	3,29b	0,18	3,20ab	0,18	0,246	
Fluorescencia (Fv/Fm)	0,76a	0,014	0,76a	0,016	0,690	

Anexo 27.

Hoja de control de temporalizador para cada tratamiento diario, ejemplo del 23 de octubre del 2015.

PROGRAMA DE RIEGO INVERNADERO FINCA SANTA LUCIA-UNA

Valvula solenoide	Cultivo	A				B				C				Tiempo de riego diario (Min)		
		TIEMPO DE ARRANQUE				TIEMPO DE ARRANQUE				TIEMPO DE ARRANQUE						
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
		8:30	4:56	11:30					10:30	1:36	3:30					
		TIEMPO DE RIEGO (Min)														
1	PEPINO	4	4	4		4	4	4		4	4					32
2	CHILE	10	10	10		8	8	8		9	9					72
3	PEPINO	2	2	2		3	3	3		-	-					15
4	CHILE	10	10	10		9	9	9		-	-					57
5																
6																
TOTAL DE RIEGO																
DIAS DE RIEGO		L	K	M	J	V	S	D	L	K	M	J	V	S	D	

Etapa del cultivo: 3 frutos a 10 frutos (chile)
Fecha de programación: 23-10-2015
Programador: Fed-a

16