

**Efecto del cambio climático en la producción de hortalizas
en Costa Rica.**

(Proyecto de investigación financiado con recursos del fondo del sistema 2014)

INFORME FINAL

DOCUMENTO 1

Coordinadores:

Juan Félix Arguello Delgado
Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional

José Eladio Monge Pérez
Estación Experimental Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica

Milton Solórzano Quintana
Escuela de Ingeniería Agrícola, Instituto Tecnológico de Costa Rica

Febrero, 2018

TEC | Tecnológico
de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Agrícola



Tabla de Contenidos

TABLA DE CONTENIDOS	I
ÍNDICE DE CUADROS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
LISTA DE ANEXOS	VIII
1. CÓDIGO Y TÍTULO DEL PROYECTO	1
2. AUTORES Y DIRECCIONES	1
3. RESUMEN	2
4. PALABRAS CLAVE	2
5. INTRODUCCIÓN	3
6. MARCO TEÓRICO	5
7. METODOLOGÍA	8
7.1. <i>Objetivo específico 1:</i> Estudio del efecto de diferentes variables ambientales, sobre la respuesta morfofisiológicos y productiva del cultivo de tomate y chile en cuatro diferentes zonas.	8
7.1.1. <i>Meta 1:</i> Caracterización ambiental de cada uno de los sitios y ambientes protegidos según zona de estudio.	8
7.1.2. <i>Meta 2:</i> Caracterización de la respuesta morfofisiológica de los cultivos según zona de estudios.	9
7.1.3. <i>Meta 3:</i> Determinación de la respuesta productiva de los cultivos según zona de estudio.	11

7.2. <i>Objetivo específico 2: Estudiar en cuanto a rendimiento y calidad la respuesta genotipo-ambiente de diferentes materiales de tomate Cherry en la estación experimental Fabio Baudrit para identificar los genotipos que presente mejor tolerancia al calor.</i>	14
7.2.1. <i>Meta 1: Determinar la respuesta productiva de los genotipos estudiados.</i>	14
7.2.2. <i>Meta 2: Evaluar genes o marcadores de tolerancia al calor en los genotipos de mejor respuesta en cuanto rendimiento y calidad.</i>	15
7.3. <i>Objetivo específico 3: Divulgar y transferir los conocimientos generados a la comunidad nacional e internacional.</i>	16
7.3.1. <i>Meta 1: Capacitar a productores y técnicos.</i>	16
7.3.2. <i>Meta 2: Publicaciones en revista indexadas</i>	16
7.3.3. <i>Meta 3: Incorporación de estudiantes de pregrado</i>	16
7.3.4. <i>Meta 4: Un desplegable informativo sobre el efecto de cambio climático en la producción de hortalizas en ambientes protegidos.</i>	17
8. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	18
8.1. <i>Objetivo específico 1: Conocer el efecto de diferentes variables ambientales, sobre la respuesta morfo-fisiológicos y productiva del cultivo de tomate y chile en cuatro diferentes zonas.</i>	18
8.1.1. <i>Meta 1: Caracterizar ambientalmente cada uno de los sitios y ambientes protegidos según zona de estudio.</i>	18
8.1.2. <i>Meta 2: Caracterizar la respuesta morfo-fisiológico de los cultivos según zona de estudios.</i>	34
8.1.3. <i>Meta 3: Determinar la respuesta productiva de los cultivos según zona de estudio</i>	39
8.2. <i>Objetivo específico 2: Conocer en cuanto a rendimiento y calidad la respuesta genotipo-ambiente de diferentes materiales de pepino en la estación experimental Fabio Baudrit para identificar los genotipos que presente mejor tolerancia al calor.</i>	58
8.2.1. <i>Meta 1: Determinar la respuesta productiva de los genotipos estudiados.</i>	58
8.2.2. <i>Meta 2: Evaluar genes o marcadores de tolerancia al calor en los genotipos de mejor respuesta en cuanto rendimiento y calidad.</i>	66

8.3. Objetivo específico 3: Divulgar y transferir los conocimientos generados a la comunidad nacional e internacional.	70
8.3.1. <i>Meta 1:</i> Capacitar a productores y técnicos.	70
8.3.2. <i>Meta 2:</i> Publicaciones en revista indexadas.	70
8.3.3. <i>Meta 3:</i> Incorporación de estudiantes de pregrado.	70
9. BIBLIOGRAFÍA	70
10. ANEXOS	72

Índice de Cuadros

Cuadro 1.	Resumen comparativo de variables ambientales en el invernadero de la Estación experimental Fabio Baudrit, (EEAFBM).	18
Cuadro 2.	Resumen de los datos del clima externo (fuera del invernadero), EEAFBM.	19
Cuadro 3.	Diferencias absolutas de temperatura y humedad relativa dentro y fuera del invernadero, EEAFBM.	20
Cuadro 4.	Resumen comparativo de variables ambientales en el invernadero de la Estación Experimental Santa Lucia (EESL), Heredia, (UNA).	21
Cuadro 5.	Resumen de los datos del clima externo (fuera del invernadero), EESL.	22
Cuadro 6.	Diferencias absolutas de temperatura y humedad dentro y fuera EESL.	22
Cuadro 7.	Resumen comparativo de las variables ambientales registradas en el invernadero de la Escuela de Ingeniería Agrícola (IEIA) en las épocas seca y lluviosa.	23
Cuadro 8.	Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca	39
Cuadro 9.	Principales resultados en la cosecha de chile, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca	40
Cuadro 10.	Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.	41
Cuadro 11.	Principales resultados en la cosecha de chile, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.	41
Cuadro 12.	Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo de chile dulce.	42
Cuadro 13.	Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del pepino.	43
Cuadro 14.	Principales resultados en la cosecha de chile dulce, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca.	45
Cuadro 15.	Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca.	46
Cuadro 16.	Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.	46
Cuadro 17.	Principales resultados en la cosecha de chile dulce, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.	47
Cuadro 18.	Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del chile dulce.	48

Cuadro 19.	Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del pepino.	48
Cuadro 20.	Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca.	49
Cuadro 21.	Principales resultados en la cosecha de chile, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca.	49
Cuadro 22.	Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.	50
Cuadro 23.	Principales resultados en la cosecha de chile, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.	50
Cuadro 24.	Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo de chile dulce.	51
Cuadro 25.	Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del pepino.	52
Cuadro 26.	Interacción entre los invernaderos de la UNA y de la UCR según la época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del chile dulce.	54
Cuadro 27.	Interacción entre los invernaderos de la UNA y de la UCR según la época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del pepino.	56
Cuadro 28.	Número de frutos de pepino cosechados según genotipo en la época seca.	58
Cuadro 29.	Peso promedio de frutos de pepino cosechados según genotipo en la época seca.	59
Cuadro 30.	Rendimiento total de pepinos cosechados según genotipo en la época seca.	60
Cuadro 31.	Porcentaje de sólidos solubles totales de pepinos cosechados según genotipo en la época seca.	60
Cuadro 32.	Número de frutos de pepino cosechados según genotipo en la época lluviosa.	61
Cuadro 33.	Peso promedio de frutos de pepino cosechados según genotipo en la época lluviosa.	61
Cuadro 34.	Rendimiento total de pepinos cosechados según genotipo en la época lluviosa.	62
Cuadro 35.	Porcentaje de sólidos solubles totales de pepinos cosechados según genotipo en la época lluviosa	63
Cuadro 36.	Interacción época versus genotipos de pepino.	64

Índice de figuras

Figura 1.	Diseño experimental, aleatorización de sacos y distribución espacial de las unidades experimentales en el invernadero.	12
Figura 2.	Comportamiento de condiciones climáticas (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época seca del invernadero EEAFBM.	25
Figura 3.	Comportamiento de las condiciones climáticas (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época lluviosa del invernadero EEAFBM.	26
Figura 4.	Comportamiento de las condiciones climática (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época seca del invernadero EESL.	27
Figura 5.	Comportamiento de las condiciones climáticas (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época lluviosa del invernadero EESL.	28
Figura 6.	Comportamiento de las condiciones climáticas (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época seca del invernadero del ITCR.	29
Figura 7.	Condiciones climática (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época del lluviosa invernadero del ITCR.	30
Figura 8.	Medias (\pm EE) de variables del intercambio de gases foliar de hojas de pepino cultivado en estación seca (Periodo Vegetativo) en la Estación Experimental F. Baudrit. Variables: Amax: Asimilación máxima ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Transpiración ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), EUA: Eficiencia del uso del agua ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Tratamientos: A: testigo, B: 20% drenaje.	34
Figura 9.	Medias (\pm EE) de variables del intercambio de gases foliar de hojas de pepino cultivado en estación lluviosa (periodo reproductivo) en la Estación Experimental F. Baudrit. Variables y tratamientos igual que en la figura 8.	35
Figura 10.	Medias (\pm EE) de las cuatro variables del intercambio de gases foliares de dos especies de hortalizas (Chile Natalie y Pepino) crecidos en condiciones de invernadero en Santa Lucía de Heredia. Variables y tratamientos igual que en la figura 8.	36
Figura 11.	Valores medios (\pm EE) del rendimiento cuántico del FSII (Fv/Fm) medidos en hojas de dos especies de hortalizas crecidas en ambientes protegidos en Santa Lucía, Heredia. El cultivo corresponde con la época lluviosa del 2015.	37
Figura 12.	Medias (\pm EE) de variables del intercambio de gases foliar de hojas de chile dulce Natalie cultivado en estación lluviosa (periodo reproductivo) en la Escuela de Ingeniería Agrícola del ITCR, Cartago. Variables y tratamientos igual que en la figura 8.	38

- Figura 13. a) Gel de agarosa al 0.8% TBE 1X de los productos de la PCR-RAPD amplificados con el cebador X01 y b) Gel de agarosa al 3% TBE 1X de los productos de PCR amplificados con el cebador Rcd1 de 250 pb en muestras de origen comercial de *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*. 67
- Figura 14. Árbol generado mediante el método de Distancia Neighbour-Joining según las variantes registradas para los siete cebadores utilizados mediante la técnica de HRM, con las muestras de origen comercial. 68
- Figura 15. Curvas de Fusión de Alta Resolución y secuencias alineadas en el programa BioEdit para las variantes de los cebadores AHL1 y Global_TF con las muestras de *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*. AHL1: Mostaza T8 Tm: 80,5°C y 80,6°C (AT), Verde T16 Tm: 80,7°C (AT) y Celeste T22 Tm: 80,4°C y 80,3°C (TI). Global_TF: Amarillo T5 Tm: 70,3°C y 79,6°C (TT), Rojo T9 Tm: 79,5°C (TI) y Celeste T15 Tm: 79,6°C y 79,4 °C (AT). 69

Lista de Anexos

- Anexo 10.1. Día de campo. Ambientes protegidos y producción de hortalizas. Finca experimental Santa Lucia, Heredia.
- Anexo 10.2. Boletín: Polimorfismos de nucleótido simple en *Solanum lycopersicum* var *cerasiforme* relacionados con características relevantes al cambio climático revelados por alta resolución de fusión.
- Anexo 10.3. Respuesta morfo-fisiológica y productiva en Tomate Cherry JMX1076 (*Solanum pimpinellifolium*) con ferti-riego bajo invernadero, en la Finca Santa Lucia, Heredia.
- Anexo 10.4. Imágenes del Proyecto
- Anexo 10.5. Programa de reunión anual del programa cooperativo centroamericano para el mejoramiento de cultivos y animales.
- Anexo 10.6. Certificado por ponencia en el congreso universitario de cambio climático y riegos, realizado en el campus Omar Dengo, Universidad Nacional, Costa Rica
- Anexo 10.7. IEEE COPYRIGHT AND CONSENT FORM
- Anexo 10.8. Using IoT resources to enhance the accuracy of overdrain measurements in greenhouse horticulture

1. CÓDIGO Y TÍTULO DEL PROYECTO

1701-123 (CONARE: 736-B4-661): Efecto del cambio climático en la producción de hortalizas en Costa Rica.

2. AUTORES Y DIRECCIONES

Universidad de Costa Rica

- Ms.c Jose Eladio Monge Pérez, melonescr@yahoo.com.mx
- Ms.c Carlos Benavides, cmbenavides@cfia.or.cr
- Lic. Alberto Jose Lopez, ajllaj@gmail.com
- Lic. Giovanni Carmona, GEOVANNI.CARMONA@ucr.ac.cr

Universidad Nacional

- Lic. Juan Felix Arguello Delgado, Juan.arguello.delgado@una.cr
- MS.c Juan Rafael Mora, juan.mora.camachi@una.cr
- Dr. Ramon Molina Bravo, rmolin@una.ac.cr
- Dr. Roberto Cordero, ticolamb@gmail.com

Instituto Tecnológico de Costa Rica

- Ing. Milton Solórzano MBA, msolorzano@itcr.ac.cr

3. RESUMEN

Se caracterizaron ambientalmente tres ambientes protegidos en cada una de las zonas en estudio del proyecto: el de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), en Alajuela; el de Estación experimental de la Finca Santa Lucía de la Universidad Nacional (EESL), en Heredia, y el de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), en Cartago. Con los datos climáticos de los invernaderos (Temperatura, Humedad Relativa y Radiación fotosintéticamente activa – PAR) se analizó el comportamiento del ambiente dentro y fuera de los invernaderos, en cada una de las épocas estudiadas (seca y lluviosa). También se caracterizó la respuesta morfofisiológica de los cultivos de chile y pepino en cada una de las zonas de estudios mediante el seguimiento del crecimiento de las plantas, así como de las variables fisiológicas. Además se determinó la respuesta productiva de los cultivos según zona de estudio, acondicionamiento de los invernaderos y el establecimiento y mantenimiento de los cultivos. Se evaluaron diversos componentes agronómicos, como rendimiento, calidad y consumo de agua de los cultivos, según época de siembra.

En apego a la propuesta inicial de cultivos a estudiar se determinó la respuesta productiva de diferentes genotipos de Tomate Cherry, según el acondicionamiento de los invernaderos, establecimiento y mantenimiento de los genotipos, y se evaluaron diversos componentes agronómicos, como rendimiento y calidad de los genotipos, así como genes o marcadores de tolerancia al calor en los genotipos de mejor respuesta en cuanto rendimiento y calidad mediante la secuenciación de genes y su evaluación in silico de los productos de genes evaluados.

Con el fin de capacitar a productores y técnicos, se usaron charlas informativas, días de campo, publicaciones en revista indexadas, así como la incorporación de dos estudiantes de pregrado.

4. PALABRAS CLAVE

Palabras claves: Invernaderos, ambiente protegido, hortalizas, clima, cambio climático.

5. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno ineludible que impactará cada vez en mayor medida todas las actividades humanas. La agricultura será afectada tanto por el exceso como por el déficit de precipitaciones, variaciones en la temperatura y otros efectos asociados. Estos eventos pueden llegar a constituir serias amenazas para lograr la seguridad alimentaria en nuestro país.

Ante este desafío, una de las alternativas es la producción de alimentos bajo condiciones en que se pueda controlar o atenuar los efectos nocivos del cambio climático, tal como sucede en el caso de los ambientes protegidos.

Sin embargo, la producción de cultivos en esta nueva modalidad representa un nuevo reto para los agricultores, dado que el comportamiento de los cultivos en este caso es diferente que a campo abierto, por lo que se requiere de la investigación científica para generar información que permita el conocimiento necesario para lograr la optimización en el manejo de la producción agrícola bajo esta nueva forma de producción.

Por otra parte, dado que el clima es un factor muy variable entre las diferentes regiones de nuestro país, es conveniente que la investigación se realice en diferentes zonas del país, para ampliar la base de conocimiento sobre el comportamiento de los cultivos.

Desde el punto de vista socioeconómico es muy importante generar conocimiento que ayude a los productores en las diferentes regiones, a implementar con éxito iniciativas de producción en ambientes protegidos, que se traduzcan en generación de ingresos para sus familias, además de asegurar el acceso de las mismas a alimentos de calidad y que contribuyan con la diversificación de su dieta, aportando principalmente minerales, fibra y vitaminas.

El desarrollo de este proyecto mejorará al nivel de conocimientos para producir hortalizas en los ambientes protegidos en forma eficiente, económicamente rentable y ecológicamente responsable, colaborará a generar nuevas opciones productivas en las diferentes regiones del país, y a cerrar la brecha tecnológica que existe entre la Región Central del país y las demás regiones en el tema de producción de hortalizas en ambiente protegido. Además, ayudará a generar nuevos productos, tanto para el mercado nacional como eventualmente el de exportación.

Para enfrentar el cambio climático es prioritario investigar en la identificación de genotipos de hortalizas que presenten tolerancia al calor, y tolerancia a las plagas y enfermedades que se favorecen por las altas temperaturas.

Este proyecto pretende estudiar el efecto del aumento de la temperatura sobre el rendimiento y la calidad de la producción de hortalizas, con el fin de estimar las posibles consecuencias de este fenómeno, a la vez que permitirá avanzar en la identificación de herramientas y estrategias que permitan mitigar los efectos perjudiciales del mismo, y brindar alternativas de producción de alimentos bajo dicho escenario.

Se persigue, además, brindar pautas para lograr el ahorro de agua en la agricultura, lo cual será imperativo en condiciones de cambio climático.

Para alcanzar este objetivo se plantean tres objetivos específicos:

1. Conocer el efecto de diferentes variables ambientales, sobre la respuesta morfológica, fisiológica y productiva del cultivo de tomate y chile en cuatro diferentes zonas.
2. Conocer en cuanto a rendimiento y calidad la respuesta genotipo-ambiente de diferentes materiales de tomate Cherry en la estación experimental Fabio Baudrit para identificar los genotipos que presente mejor tolerancia al calor.
3. Divulgar y transferir los conocimientos generados a los productores de ambientes protegidos y técnicos de las zonas en estudio, utilizando capacitaciones y publicaciones.

6. MARCO TEÓRICO

En Costa Rica, la producción agrícola bajo ambientes protegidos se inició a finales de los años 80, principalmente dirigida a la producción de plantas ornamentales y flores. En los últimos años se han desarrollado pequeños proyectos de producción de hortalizas en ambientes protegidos, incluso unos pocos con fines de exportación, pero no todos han sido exitosos, y se ha generado relativamente poca información científica al respecto, la cual no siempre está al alcance de los agricultores.

En el año 2010, existían en Costa Rica 688,23 hectáreas de ambientes protegidos, las hortalizas de la familia de las solanáceas se consolidaron como el mayor grupo, abarcando 116 hectáreas, esta puede considerarse como el área cubierta por chile y tomate. Alajuela y Cartago son las provincias con mayor cantidad de agricultura y cubren en conjunto el 80 % de la superficie utilizada con ese fin. El tamaño promedio de las actividades productivas rondó 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 de esta naturaleza. Sin embargo, el sistema de manejo de estos cultivos en dichos ambientes es el mismo que se usa a campo abierto, lo que se considera una subutilización de la estructura (Marín, 2010).

Existe la expectativa de desarrollar en forma importante una actividad de exportación de tomate y chile dulce, dirigida hacia los Estados Unidos. A pesar de que desde hace varios años se hacen pequeñas exportaciones a Canadá y varias islas del Caribe, la oportunidad de exportar estos productos al mercado de Estados Unidos abre un gran mercado para estos productos. 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, y por lo tanto se desconoce su comportamiento bajo condiciones tropicales (Del Monte, s.f.; López, 2008).

Las exportaciones de chile dulce de América Central y el Caribe a Estados Unidos sumaron más de 10.500 toneladas métricas en 2009 (Reho, 2010). La totalidad de la producción de chile dulce tipo cuadrado, de colores anaranjado, amarillo y rojo en dichos países se hace bajo ambientes protegidos, tales como invernaderos, túneles, y otros, que permiten el mejoramiento de la calidad del fruto en comparación a la producción a campo abierto.

Los principales productores de acuerdo a su volumen fueron República Dominicana, Honduras, Nicaragua y Guatemala. Aunque faltan estadísticas confiables, se estima que hay más de 600 hectáreas de ambientes protegidos en estos países (Santos et al., 2011)

En Costa Rica ya se cultiva algunas pequeñas cantidades de chiles tipo cuadrado, para el mercado interno, los cuales se venden a precios muy superiores al que se obtiene con los chiles que mayoritariamente se comercializan en el país (tipo cónico). En los últimos meses se han desarrollado investigaciones sobre el comportamiento de diferentes genotipos de chile dulce producidos en invernadero, así como el efecto de diferentes prácticas de manejo, como la aplicación de anti estresantes, tipos de poda, densidades de siembra, niveles de aporte de riego, fertilización, manejo integrado de plagas, polinización entomófila, así como de las oportunidades de mercado para este cultivo. Uno de los hallazgos más importantes es la identificación de dos genotipos de chile cuadrado amarillo que han tenido una aceptación muy importante entre los consumidores, y que se venden a un precio alto, lo que constituyen opciones novedosas para los agricultores (Monge, 2010; Monge, 2011b).

Además, el rendimiento de chile dulce obtenido bajo ambiente protegido en Costa Rica (entre 94 a 201 toneladas/ha) ha sido mucho mayor que el obtenido en Honduras (52-54 toneladas/ha) y en República Dominicana (50-56 toneladas/ha) en condiciones similares, lo que habla muy bien del nivel tecnológico logrado en Costa Rica gracias a las investigaciones realizadas en la Universidad de Costa Rica (Monge, 2010; Monge 2011b; Santos et al, 2011).

Asimismo, se han desarrollado investigaciones preliminares sobre el comportamiento de nuevos genotipos de melones producidos en invernadero, así como tipos de poda,

diferentes densidades de siembra, fertilización, manejo integrado de plagas, polinización entomófila y oportunidades de mercado para este cultivo (Monge, 2011b; Monge 2012a; Monge 2012b).

En 2012 se desarrolló una investigación preliminar sobre el comportamiento de diferentes genotipos de tomates producidos en invernadero, que incluye tomates tipo ‘cherry’, ‘uva’, ‘cocktail’, ‘de racimo’, y ‘gordo’, tanto de color rojo como anaranjado, rosado, amarillo y negro, y tanto de hábito de crecimiento indeterminado, como semi determinado y determinado. Hasta el momento se han detectado varios genotipos que presentan tolerancia importante a la enfermedad llamada marchitez bacterial (*Ralstonia solanacearum*), así como genotipos que producen frutos de una calidad excepcional (brix entre 8,0 y 9,0), que constituyen productos gourmet. De hecho, la empresa Del Monte ha manifestado un gran interés en desarrollar la exportación de tomates tipo ‘cherry’ o ‘uva’ que presenten características de sabor o color diferenciado (Monge 2012c; Monge 2012d; Monge 2013a; Monge 2013b).

Una de las consecuencias del cambio climático es el aumento en la temperatura global, que se estima que puede ser de al menos 2 grados centígrados a lo largo del presente siglo. Este aumento en la temperatura provoca mayores problemas con algunas plagas, como la mosca blanca y los ácaros, o la enfermedad del mildiú polvoso, lo cual se ha evidenciado en el invernadero de la Estación Fabio Baudrit, donde se alcanzan valores extremos de temperatura máxima de 40-42 °C, y valores extremos de humedad relativa baja de entre 20-40 % (Monge, 2012a). Según Castellanos (2009), el rango óptimo de crecimiento y producción de tomate se da entre los 15 y 25 °C; el óptimo térmico para el desarrollo del tomate durante el día es de 23-25 °C, y de 15-17 °C durante la noche, mientras que la humedad relativa apropiada es del orden de 70 %. Las temperaturas por debajo de 8 °C y por encima de 30 °C alteran el desarrollo del tomate y suelen provocar una deficiente fructificación. Altas temperaturas, por encima de los 30 °C durante largos períodos, agobian las plantas y ocasionan desórdenes fisiológicos en el fruto (Castellanos, 2009).

De aquí que para enfrentar el cambio climático es prioritario investigar en la identificación de genotipos que presenten tolerancia al calor, y tolerancia a las plagas y enfermedades que se favorecen por las altas temperaturas. Además, es importante

estudiar el efecto del aumento de la temperatura sobre el rendimiento y la calidad de la producción de hortalizas, con el fin de estimar las posibles consecuencias de este fenómeno, a la vez que permite avanzar en la identificación de herramientas y estrategias que permitan mitigar los efectos perjudiciales del mismo, y brinden alternativas de producción de alimentos bajo dicho escenario. Además, en estas condiciones, es previsible una mayor demanda de agua de parte de los cultivos, por lo que el ahorro de agua en la agricultura es una necesidad imperiosa.

7. METODOLOGÍA

7.1. *Objetivo específico 1: Estudio del efecto de diferentes variables ambientales, sobre la respuesta morfofisiológicos y productiva del cultivo de tomate y chile en cuatro diferentes zonas.*

7.1.1. *Meta 1: Caracterización ambiental de cada uno de los sitios y ambientes protegidos según zona de estudio.*

Mediante visitas de campo a los invernaderos ubicados en la Estación Experimental Fabio Baudrit de la UCR en Alajuela, en la Finca Experimental de Fraijanes de la UCR, la Finca Santa Lucía de la UNA, en Barva y en el Campus Central de Cartago del ITCR, se realizó una descripción detallada del tipo y estado de la estructura y el material de cerramiento utilizado en paredes, piso, cubierta y ventanas con el siguiente detalle:

- a) Ubicación geográfica y altitud de la instalación mediante GPS.
- b) Determinación de las características físicas, tipo de estructura y material de cerramiento:
 - Dimensionamiento general.
 - Áreas, ubicación, forma y material de cerramiento de ventanas
 - Para las instalaciones cubiertas con plástico, obtener muestras del material de cerramiento para determinar transmisibilidad.
- c) Descripción detallada de los equipamientos disponibles y de los criterios de operación del invernadero desde el punto de vista termodinámico.
- d) Grado de control climático que se maneja en cada instalación.

- e) Estudio de las variables climáticas:
- **Condiciones ambientales internas:** Se colocaron dispositivos programables dentro de cada invernadero para llevar un registro continuo de las condiciones de temperatura, humedad relativa. El número se definió de acuerdo con las dimensiones de la instalación.
 - **Condiciones ambientales externas:** Se localizaron estaciones meteorológicas clase A cercanas y se gestionó la información necesaria para el proyecto. En el caso que no existían este tipo de estaciones cercanas a proyecto, se colocaron estaciones meteorológicas y se programó el manejo de la información.
- f) Por medio de modelos matemáticos y usando como datos de entrada los obtenidos en la estación externa se propuso predecir las condiciones internas. Se persiguió mediante la correlación entre las condiciones generadas con el modelo y las lecturas reales obtenidas con los dispositivos dentro de los invernaderos definir el grado de precisión del modelo y las investigaciones o acciones requeridas para su calibración.
- g) Correlación de información climática con la respuesta del cultivo.

7.1.2. Meta 2: Caracterización de la respuesta morfofisiológica de los cultivos según zona de estudios.

Las siguientes mediciones se realizaron para las variedades en los invernaderos ubicados en la Estación Experimental Fabio Baudrit de la UCR en Alajuela, la Finca Santa Lucía de la UNA, en Barva y en el Campus Central de Cartago del ITCR.

Mediciones de variables morfofisiológicas:

Crecimiento y morfología. Desde el inicio y a lo largo del periodo de estudio las plantas sometidas a los tratamientos fueron evaluadas con la siguiente serie de mediciones morfológicas y de crecimiento: número de hojas y ramas, altura total y grosor del tallo basal. Además, hojas descoloradas y teñidas a cierto punto en su desarrollo, fueron escaneadas con el fin de obtener una imagen digital de referencia para posteriormente ser

procesadas en el programa LEAF GUI y extraer variables de nervadura como el área media y número de las areolas, densidad de venas entre otras (Price et al. 2010).

Al final de periodo de crecimiento se cosechó para obtener las siguientes variables: la biomasa seca del tallo (Bt), raíces (Br), hojas (Bh) y total (Bt), además del área foliar total (Af) con el objetivo de obtener relaciones de asignación como el área foliar específica (AFE), la relación del área foliar (LAR), a la del tallo (SBR) y la relación de la biomasa del tallo (SMR como $Br/Bt+1$). Se proyectó que cada una de estas variables respondiera concomitantemente con las características del sitio, de tal manera que si existían diferencias en las respuestas de las variedades éstas se reflejarían en la asignación de biomasa y en la producción final. Se procuró extraer, secar y pesar unas 15 plántulas por cada variedad, desde el principio para poder calcular una tasa de crecimiento en términos de biomasa (Villar et al. 2004).

Se midió la concentración de clorofila y la concentración de nitrógeno foliar como parámetros nutricionales y luego se comparará con los valores de SPAD para determinar su validez como indicador nutricional y su variación por sitio.

Intercambio de gases. Antes de la cosecha, se midió la tasa fotosintética máxima con un analizador de gases al infrarrojo (LI-6400XT, Li-Cor, Inc EEUU), los valores de SPAD, y con una sonda de fluorescencia, se midieron los valores del cociente F_v/F_m , como indicadores del estado del aparato fotosintético a 6 plantas por variedad en cada sitio.

Análisis de datos. De acuerdo con el diseño experimental planteado en cada invernadero se procedió a analizar los datos morfofisiológicos para comparar variedades y sitios. Así mismo, para determinar si existían diferencias en los parámetros de asignación de biomasa, crecimiento, las variables fisiológicas y de venación se realizaron análisis de varianzas con comparaciones de promedios a posteriori (Tukey). Dado que las respuestas de las plantas son de carácter multidimensional se realizaron análisis de componentes principales (PAC) de los parámetros de asignación de biomasa, así como de las variables fisiológicas y los diversos rasgos de venación con el fin de resumir la variación de los datos y determinar que parámetro es el que tiene mayor peso en el temperamento de las plantas. De los valores obtenidos del PCA se realizaron análisis de varianzas por

tratamiento y por variedad para determinar si la variación resumida difiere ante ambos factores. Así mismo, de los valores obtenidos por los dos primeros componentes de cada PCA se realizaron regresiones lineales con el fin de observar patrones de respuesta multivariada entre los rasgos de asignación, intercambio de gases y venación, y con los resultados de productividad. Todos los análisis anteriores se realizaron siguiendo los lineamientos descritos por Quinn & Keough (2002). Las variables que no se presentaron normalidad para trabajar con análisis paramétricos, se les realizaron transformaciones pertinentes.

7.1.3. Meta 3: Determinación de la respuesta productiva de los cultivos según zona de estudio.

Material biológico:

Un genotipo de pepino y un genotipo de Chile dulce Natalie (los almácigos de los genotipos originalmente planteados de Tomate Cherry JMX1076 y Chile Cuadrado VILLAPLANTS AMARILLO, no estuvieron a tiempo para el desarrollo del experimento).

Tratamientos:

- a. Producción en época seca, y época lluviosa: el ensayo se realizó dos veces en cada sitio, un ciclo durante la época seca (diciembre-abril), y otro ciclo durante la época lluviosa (mayo-noviembre).
- b. Riego a capacidad de campo, y agotamiento al 25 %: en cada sitio se establecieron dos regímenes de riego, tanto a capacidad de campo, como la aplicación con un agotamiento del 25 %.

Diseño estadístico:

Se estableció un diseño completo al azar con ocho repeticiones, donde cada repetición consistirá de un saco con cuatro plantas cada uno. El diseño de plantación se presenta en la figura 1:

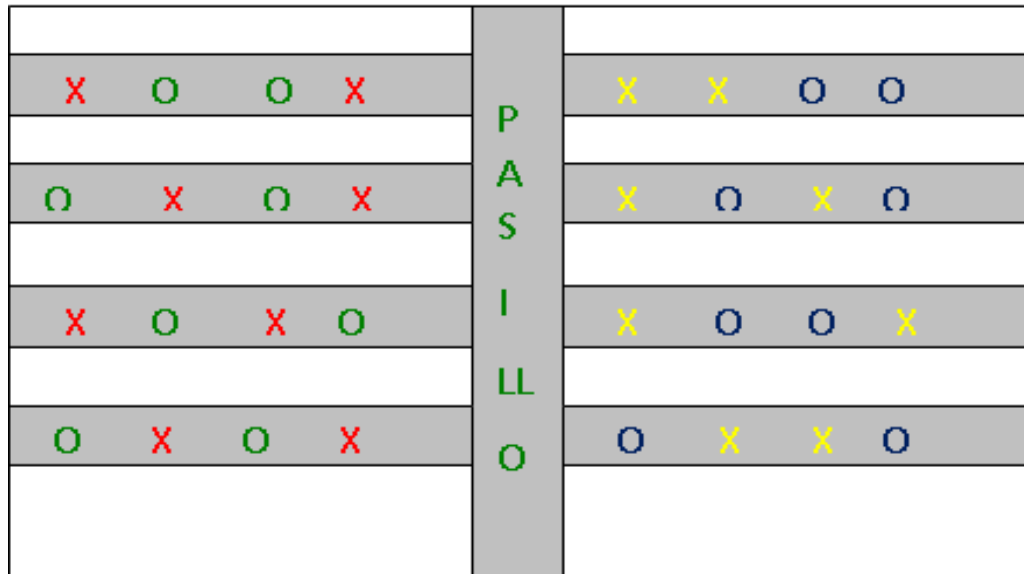


Figura 1. Diseño experimental, aleatorización de sacos y distribución espacial de las unidades experimentales en el invernadero.

Simbología:

- X Pepino a capacidad de campo.
- O Pepino a un agotamiento del 25%.
- X Chile dulce a capacidad de campo.
- O Chile dulce a un agotamiento del 25%.

Establecimiento:

Se estableció un almacigo de los materiales a estudiar, simultáneamente se prepararon los invernaderos en cuanto desinfección, sistema de riego, sistema de soporte, sacos de fibra de coco, fertirrigación y productos necesarios para el control de plagas y enfermedades.

Para el cultivo de pepino se estableció una densidad de siembra de 15.000 plantas por hectárea y para el cultivo de chile 26.000 plantas por hectárea.

Manejo:

La siembra se realizó por trasplante una vez que las plántulas alcanzaron cuatro hojas verdaderas. En Pepino se manejó la planta a dos tallos y el chile dulce se dejó la planta a libre crecimiento.

Para ambos cultivos se realizaron las deshojas y deshojas rutinarias en estos cultivos.

Cuando la planta lo requería se realizaron los amarres correspondientes con el fin de mantener la planta verticalmente.

La fertilización se realizó con un sistema de fertirriego, realizando tres etapas diferentes dependiendo de la fenología del cultivo.

El control de plagas y enfermedades se realizó dependiendo de la incidencia de las mismas y se utilizaron productos químicos y biológicos recomendados para esta labor.

La cosecha se realizó en momento que el fruto inició su proceso de maduración, una vez a la semana durante todo el ciclo de cultivo, en forma manual.

Al final del ensayo, se realizó un análisis comparativo entre sitios, entre épocas, y entre tratamientos de régimen hídrico, con base en las diferentes variables evaluadas

7.2. Objetivo específico 2: Estudiar en cuanto a rendimiento y calidad la respuesta genotipo-ambiente de diferentes materiales de tomate Cherry en la estación experimental Fabio Baudrit para identificar los genotipos que presente mejor tolerancia al calor.

7.2.1. Meta 1: Determinar la respuesta productiva de los genotipos estudiados.

Material biológico:

Quince genotipos de tomate Cherry JMX1076, JMX1171, JMX 1175, JMX 1179, JMX 1181, JMX 1272, JMX 1277, JMX 1283, JMX 1285, JMX 1291, JMX 1294, JMX1289, JMX 1290, JMX 1178, JMX 1287.

Establecimiento:

Los materiales se establecieron en la época seca, al establecer un almacigo de los materiales, simultáneamente se preparó el invernadero en cuanto desinfección, sistema de riego, sistema de soporte, sacos de fibra de coco, fertirrigación y productos necesarios para el control de plagas y enfermedades. Se estableció una densidad de siembra de 15.000 plantas por hectárea.

Manejo:

La siembra se realizó por trasplante una vez que las plántulas alcanzaron cuatro hojas verdaderas y se manejaron las plantas a dos tallos. Las labores de deshijas y deshojas se realizaron de forma rutinaria.

Cuando la planta lo requirió se realizaron los amarres correspondientes con el fin de mantener la planta verticalmente.

La fertilización se realizó con un sistema de fertirriego, en tres etapas diferentes dependiendo de la fenología del cultivo.

El control de plagas y enfermedades se realizó según la incidencia de las mismas y se utilizaron productos químicos y biológicos recomendados para esta labor.

La cosecha se realizó en el momento en que el fruto inicio su proceso de maduración, una vez a la semana durante todo el ciclo de cultivo, en forma manual y se medieron los siguientes parámetros, rendimiento total, peso de 20 frutos, grados brix y numero de frutos por racimo.

7.2.2. Meta 2: Evaluar genes o marcadores de tolerancia al calor en los genotipos de mejor respuesta en cuanto rendimiento y calidad.

Se estudiaron las diferencias genéticas de los genotipos tolerantes y no tolerantes al calor y se seleccionaron 10 genes específicamente relacionados a la tolerancia al calor en tomate. Tales genes fueron seleccionados basados en posibles mecanismos de tolerancia tal como pequeñas proteínas de choque térmico (sHsps) del citoplasma o nuclear, reguladores de transcripción, y proteínas estabilizadores de la membrana {Siddiquee:2007uf, Sanmiya:2004kb, Fion:2005wx, Low:2000ty}. Los sHsps se involucran en la protección de varios factores abióticos, incluyendo el calor. Uno de sus principales funciones son la estabilización de proteínas durante la fotosíntesis en temperaturas altas {Barua:2003dw}.

Los genes involucrados en los procesos de tolerancia al calor fueron amplificados por medio de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) con cebadores específicos a los genes reportados. Los productos amplificados fueron verificados en un gel de agarosa y posteriormente enviados al extranjero para su secuenciación (MacroGenSequencingService). La secuencia de los genes de cada genotipo fueron alineados para su comparación. Las secuencias se tradujeron a proteínas in silico para evaluar diferencias potenciales asociadas a la estabilidad de la proteína o la tolerancia al calor.

Para complementar el análisis de comparación entre los genotipos, se pretendió analizar polimorfismos potencialmente informativos en marcadores moleculares de carácter codominante (SSR, EST o SSR-EST). A pesar de la gran cantidad de información publicada sobre factores abióticos en tomate, estudios cuantitativos y asociación de marcadores no ha sido extensamente evaluada en tomate, posiblemente por el énfasis y éxito que se ha obtenido por métodos convencionales {Foolad:2007ct}. Sin embargo,

marcadores asociados a tolerancia a la sequía y la sal sí han sido evaluados extensamente. Por lo tanto, se propuso evaluar 15 marcadores moleculares asociados a estas tolerancias, adicional a marcadores asociados a la tolerancia al calor, para evaluar polimorfismos en los genotipos en cuestión {Foolad:2007ct, Foolad:2004tj, Lin:2010cc}.

Los marcadores moleculares tipo SSR, EST o SSR-EST fueron evaluados para detección de polimorfismos por medio de PCR y visualización en geles de poliacrilamida en un analizador de ADN marca Li-Cor 4300. Los marcadores potencialmente informativos se compararon con otros mapas disponibles en tomate para evaluar si asociación a caracteres o genes involucrados en tolerancia al calor

7.3. *Objetivo específico 3: Divulgar y transferir los conocimientos generados a la comunidad nacional e internacional.*

7.3.1. *Meta 1: Capacitar a productores y técnicos.*

Para la realización de la capacitación se realizó un taller, en el que se realizaron charlas, visita a un invernadero en producción, donde se les dio toda la explicación respectiva del manejo agronómico que se le ha dado a la producción de chile y tomate en condiciones de invernadero.

7.3.2. *Meta 2: Publicaciones en revista indexadas*

Se recopilaron los resultados obtenidos en cada uno de los invernaderos estudiados y se analizaron, para la posterior redacción de un artículo para una revista indexada.

7.3.3. *Meta 3: Incorporación de estudiantes de pregrado*

Se incentivó a estudiantes de pregrado de las diferentes universidades participantes para que se integraran a los diferentes trabajos del proyecto y posteriormente realizaran sus trabajos finales de graduación en temas relacionados con el proyecto.

7.3.4. Meta 4: Un desplegable informativo sobre el efecto de cambio climático en la producción de hortalizas en ambientes protegidos.

Se recopilaron los resultados de cada uno de los invernaderos estudiados, posteriormente se analizaron y se seleccionaron con el fin de confeccionar un desplegable donde se muestran los resultados encontrados por cada zona de ubicación de los invernaderos.

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1. *Objetivo específico 1:* Conocer el efecto de diferentes variables ambientales, sobre la respuesta morfo-fisiológicos y productiva del cultivo de tomate y chile en cuatro diferentes zonas.

8.1.1. *Meta 1:* Caracterizar ambientalmente cada uno de los sitios y ambientes protegidos según zona de estudio.

INVERNADERO ESTACION EXPERIMENTAL FABIO BAUDRIT (EEAFBM) - UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

El invernadero de Hortalizas de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) tiene una orientación en sentido este-oeste, y se ubica en la latitud 10°0'22,89''N y la longitud 84°15'54,63''O. Es un invernadero multicapilla de 55 m de largo y 38,4 m de ancho, con cuatro naves adosadas, una altura a la canoa de 4 m y al cenit de 6,5 m. Las ventanas en los costados este y oeste tienen un área total de 206,9 m² y las ventanas en dirección norte y sur tienen un área de 220 m². Las ventanas cenitales, en su máxima apertura, tienen una altura de 2,1 m (López-López y Benavides-León, 2014).

El cuadro 1 presenta un resumen comparativo de los datos de las variables ambientales dentro del invernadero de la EEAFBM, tanto en la época seca como la lluviosa:

Cuadro 1. Resumen comparativo de variables ambientales en el invernadero de la Estación experimental Fabio Baudrit, (EEAFBM).

Temperatura diaria* promedio (°C)			
Época	Promedio	Máxima	Mínima
Seca	25,35	30,55	19,75
Lluviosa	24,25	28,65	20,25
Humedad relativa diaria promedio (%)			
Época	Promedio	Máxima	Mínima
Seca	62,90	79,75	48,95
Lluviosa	80,75	92,80	65,60
Radiación PAR diurna promedio (w/m ²)			
Época	Promedio	Máxima	Mínima
Seca	646,5	1,605,6	1,2
Lluviosa	494,0	1,563,1	1,4

*Promedio entre los datos diurnos y nocturnos

Entre los principales hallazgos, se puede concluir que entre la época seca y la lluviosa hay una diferencia en la temperatura diaria promedio de 1,1 °C (mayor en la época seca), en la temperatura diaria máxima de 1,9 °C (mayor en la época seca), en la humedad relativa diaria promedio de 17,85 % (mayor en la época lluviosa), en la humedad relativa diaria máxima de 13,05 % (mayor en la época lluviosa), en la humedad relativa diaria mínima de 16,65 % (mayor en la época lluviosa), y en la radiación PAR diurna promedio de 152,5 w/m²s mayor en la época seca.

En el cuadro 2 se comparan las variables climáticas dentro y fuera del invernadero:

Cuadro 2. Resumen de los datos del clima externo (fuera del invernadero), EEAFBM.

Época	Temperatura diaria promedio (°C)		Lluvia diaria promedio (mm)
	Máxima	Mínima	
Seca	31,6	18,6	1,7
Lluviosa	32,1	18,7	7,2

Se puede apreciar que las diferencias en temperatura máxima promedio y temperatura mínima promedio, entre ambas épocas de siembra, es muy baja. Inclusive, para ambas variables, los valores más altos se presentan en la época lluviosa, lo que puede ser ocasionado por la estación de verano en el hemisferio norte durante la época lluviosa en nuestro país.

El Cuadro 3 evidencia que las temperaturas siempre son más altas dentro del invernadero, en comparación a las condiciones fuera de él. El cambio más drástico se da con las temperaturas máximas durante la época seca, donde el aumento en esta variable es de 5,4 °C, lo que representa un 17,1 % más de magnitud. En la época lluviosa, el incremento en la temperatura máxima es de solo 1,3 °C dentro del invernadero, en comparación a las condiciones externas; ésta relativamente pequeña variación se debe a la mayor humedad relativa durante dicha época, producto de las lluvias.

Cuadro 3. Diferencias absolutas de temperatura y humedad relativa dentro y fuera del invernadero, EEAFBM.

Variable	Temperatura fuera del invernadero (°C)	Temperatura dentro del invernadero (°C)	Diferencia absoluta (°C)	Diferencia relativa (%)
Época seca				
Máxima	31,6	37,0	5,4	17,1
Mínima	18,6	19,2	0,6	3,2
Época lluviosa				
Máxima	32,1	33,4	1,3	4,0
Mínima	18,7	19,8	1,1	5,9

INVERNADERO ESTACION EXPERIMENTAL SANTA LUCIA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA

El invernadero utilizado para el desarrollo del proyecto se localiza en la Estación Experimental Santa Lucía en Santa Lucía (EESL) de Barba de Heredia, la cual se ubica en los 10° 1' 20" de latitud Norte y 84° 06' 45" de longitud Oeste, a una altitud de 1 250 msnm, en el cantón de Barva. El clima de la zona se caracteriza por presentar una precipitación anual de 2371 mm. La humedad relativa es de 78,0 % y la temperatura media anual, de 21,5 °C, con mínimas de 15,2 °C y máximas de 27,80 °C, y la velocidad del viento es de 15.5 Km/h (IMN 2009). El invernadero tiene 20 metros de largo y 10 metros de ancho para un área total de 200 m², para el establecimiento de los experimentos se usó un área de 170 m². El invernadero es de una sola capilla en forma de arco con ventana cenital de 5,0 metros del suelo y una altura mínima a las canoas de 3 m; con cobertura de plástico transparente en el techo de 7 milésimas de espesor y tanto en el frente como en los costados posee malla anti-áfidos. El cuadro 4, presenta el resumen comparativo de las variables ambientales registradas durante la ejecución del proyecto durante las épocas seca y lluviosa.

Cuadro 4. Resumen comparativo de variables ambientales en el invernadero de la Estación Experimental Santa Lucía (EESL), Heredia, (UNA).

Temperatura diurna promedio (°C)			
Época	Promedio	Máxima	Mínima
Seca	25,75	38,18	17,31
Lluviosa	25,12	37,62	11,66
Humedad relativa diurna promedio (%)			
Época	Promedio	Máxima	Mínima
Seca	57,30	91,14	22,47
Lluviosa	69,13	88,11	29,07
Radiación PAR diurna promedio (w/m²)			
Época	Promedio	Máxima	Mínima
Seca	793,98	1,262,79	0,18
Lluviosa	502,16	1,222,43	0,36

Al observar los datos de temperatura en las dos épocas, se evidencia que no existe una diferencia significativa entre los promedios y la temperatura máxima; en donde sí hay un mayor intervalo, es en la temperatura mínima donde se da una diferencia entre la época seca y lluviosa de poco más de 5 grados. Esto puede ser debido a que en verano hay periodos más largos de radiación lo que permite que el invernadero se caliente más y esto aumente las temperaturas nocturnas. Caso contrario en invierno que llueve frecuentemente después de mediodía, por lo que el invernadero empieza a enfriarse, alcanzando temperaturas más bajas por la noche. En cuanto a la humedad relativa dentro del invernadero, podemos ver que aunque en promedio esta es más baja en verano que en invierno, es la época seca la que presenta mayores valores. Posiblemente por un incremento en la evapotranspiración del cultivo, como respuesta a las altas temperaturas.

En cuanto a la radiación PAR, la época seca presente mayores valores, ya que la presencia de periodos de lluvia, afectan la cantidad de luz que ingresa al invernadero.

El cuadro 5 presenta el clima externo al invernadero, donde se observa que en relación a las temperaturas máximas se presenta un fenómeno de inversión térmica, común en regiones tropicales, ya que la temperatura dentro del invernadero es más de 10 grados mayor que la temperatura externa. Se refleja poca diferencia entre los valores de temperatura y humedad relativa de la época seca y lluviosa.

La humedad relativa máxima presenta valores más bajos que en el invernadero y la humedad mínima tiene valores más altos para las dos épocas respecto al invernadero esto nos da un promedio mayor para ambos periodos.

Cuadro 5. Resumen de los datos del clima externo (fuera del invernadero), EESL.

Promedio mensual			
	Temperatura (°C)		
	Máxima	Minima	Promedio
Época seca	26,80	14,70	20,66
Época lluviosa	25,00	14,90	19,70
	Humedad (%)		
	Máxima	Minima	Promedio
Época seca	84,10	71,00	78,20
Época lluviosa	86,70	72,90	5,58
	Precipitación (mm)		
	Máxima	Minima	Promedio
Época seca	328,80	42,70	203,94
Época lluviosa	440,10	17,30	228,33

Las conductas mencionadas anteriormente se reflejan en el cuadro 6, ya en cuanto a la temperatura, los valores de máximos dentro del invernadero son mayores tanto en verano como en invierno, y las mínimas son ms bajas en época lluviosa que en verano. Sin embargo la humedad relativa mínima, presenta valores mucho más altos fuera del invernadero que dentro y la humedad máxima se presenta en la época seca dentro del invernadero.

Cuadro 6. Diferencias absolutas de temperatura y humedad dentro y fuera EESL.

Variable	Temperatura fuera del invernadero (°C)	Temperatura dentro del invernadero (°C)	Diferencia absoluta (°C)	Humedad fuera del invernadero (%)	Humedad dentro del invernadero (%)	Diferencia relativa (%)
Época seca						
Máxima	26.80	38.18	11.38	84.10	91.14	7.04
Mínima	14.70	17.31	2.61	71.00	22.47	48.53
Época lluviosa						
Máxima	25.00	37.62	12.62	86.70	88.11	1.44
Mínima	14.90	11.66	3.24	72.90	29.07	43.83

**INVERNADERO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA –
SEDE CENTRAL CARTAGO – INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE COSTA RICA**

El invernadero utilizado para el desarrollo del proyecto se localiza en la sede central de Instituto Tecnológico de Costa Rica ubicada un kilómetro al sur de la Basílica de Nuestra Señora de Los Ángeles, de la provincia de Cartago. Su ubicación precisa es sobre las coordenadas 9°51'8.57" Latitud Norte y 83°54'35.09" Longitud Oeste a una altitud de 1414 msnm, su orientación predominante es de este a oeste, con una ligera inclinación de cerca de 10° desde el este hacia el sur.

El invernadero tiene 30 metros de largo y 7,5 metros de ancho, aunque para la ejecución del proyecto se designaron 25 metros de longitud, y los otros 5 metros fueron asignados a otro proyecto de investigación por lo que se colocó un plástico en toda la altura del invernadero para impedir cualquier contacto entre ambos proyectos.

El invernadero es de una sola capilla en forma de arco con ventana cenital de 30 centímetros y una altura mínima a las canoas de 3 m; con una altura máxima en el centro de las naves de 5 m, con cobertura de plástico transparente en el techo de 7 milésimas de espesor y tanto en el frente como en los costados posee malla anti-áfidos.

El cuadro 7, presenta el resumen comparativo de las variables ambientales registradas durante la ejecución del proyecto durante las épocas seca y lluviosa.

Cuadro 7. Resumen comparativo de las variables ambientales registradas en el invernadero de la Escuela de Ingeniería Agrícola (IEIA) en las épocas seca y lluviosa.

Variable	Temperatura diaria (°C)	Humedad relativa diaria (%)	Radiación PAR diaria (w/m ²)	Temperatura diaria (°C)	Humedad relativa diaria (%)	Radiación PAR diaria (w/m ²)
Época	Seca			Lluviosa		
Máxima	43,982	100,00	1.703,70	34,413	100,00	2.061,20
Mínima	11,151	25,90	0,60	12,630	36,40	1,20
Promedio	19,801	84,28	184,21	19,970	89,45	249,29

Entre los principales hallazgos, se puede concluir que para el invernadero en estudio la diferencia de temperatura diaria promedio entre la época seca y la lluviosa no llega a 1 °C (0,169°C) siendo mayor en la época lluviosa, sin embargo, es importante señalar que el rango de temperatura entre la máxima y mínima media extrema es de 21,783 °C en la época lluviosa y de 32,831 °C en la época seca, para una variación de 11,048 °C entre cada estación.

Durante ambas épocas de cultivo se presentan valores de humedad relativa del 100%, la mínima humedad relativa diaria es de 25,90% durante la estación seca.

La mayor radiación fotosintéticamente activa (PAR) diurna promedio es de 249,29 W/m²s y se da durante la estación lluviosa.

Registro de las condiciones climáticas de los invernaderos

La figura 2 presenta el comportamiento de la temperatura y humedad relativa máxima, mínima y promedio, para los períodos diurno y nocturno en la época seca en el invernadero de la Estación Experimental Fabio Baudrit. Se incluye además la Radiación fotosintéticamente activa (PAR) evidentemente, diurna.

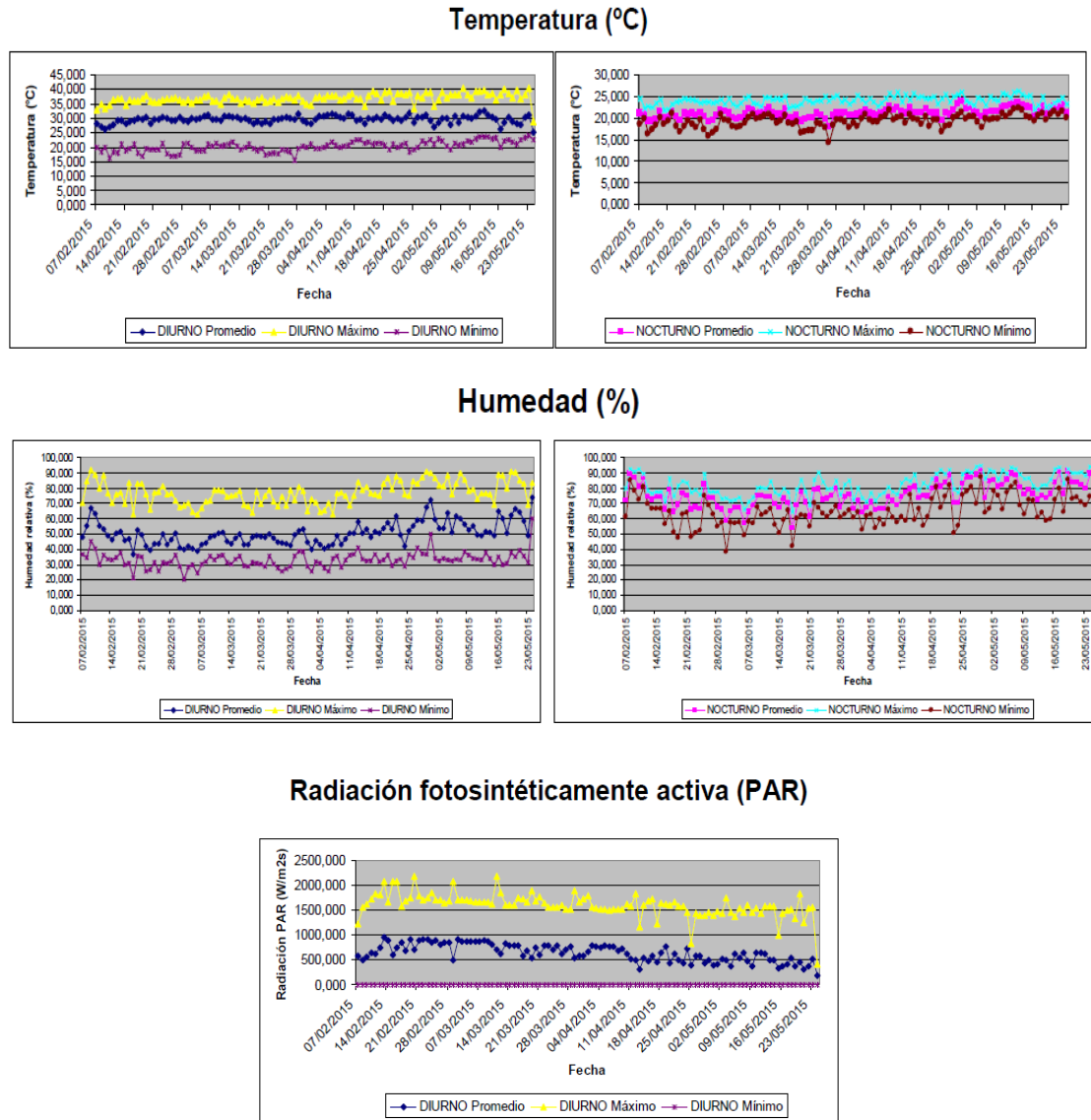


Figura 2. Comportamiento de condiciones climáticas (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época seca del invernadero EEAFBM.

La figura 3 presenta el comportamiento de la temperatura y humedad relativa máxima, mínima y promedio, para los períodos diurno y nocturno en la época lluviosa en el invernadero de la Estación Experimental Fabio Baudrit. Se incluye además la Radiación fotosintéticamente activa (PAR) evidentemente, diurna.

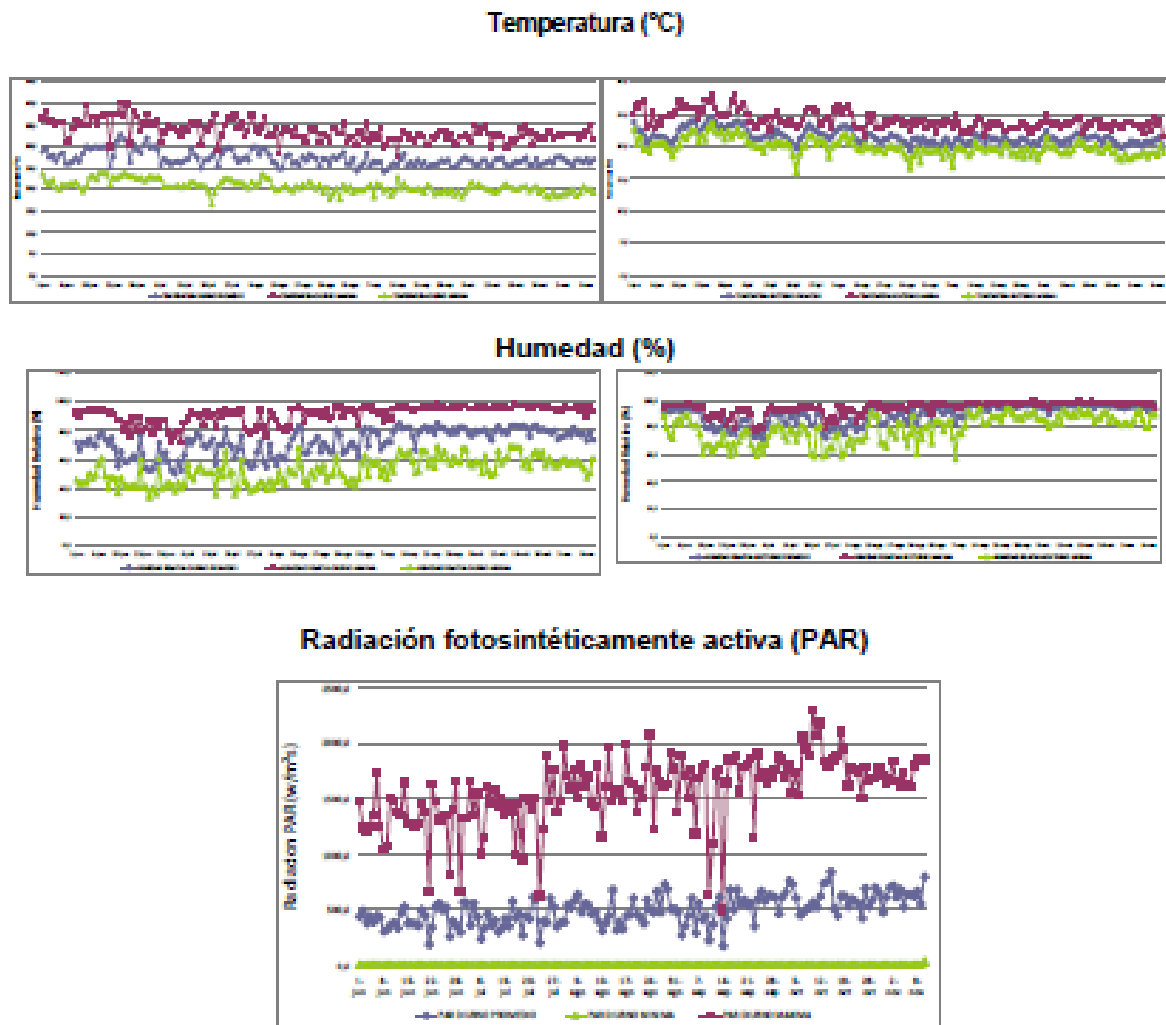


Figura 3. Comportamiento de las condiciones climáticas (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época lluviosa del invernadero EEAFBM.

La figura 4 presenta el comportamiento de la temperatura y humedad relativa máxima, mínima y promedio, para los períodos diurno y nocturno en la época seca en el invernadero de la Estación Experimental Santa Lucía. Se incluye además la Radiación fotosintéticamente activa (PAR) evidentemente, diurna.

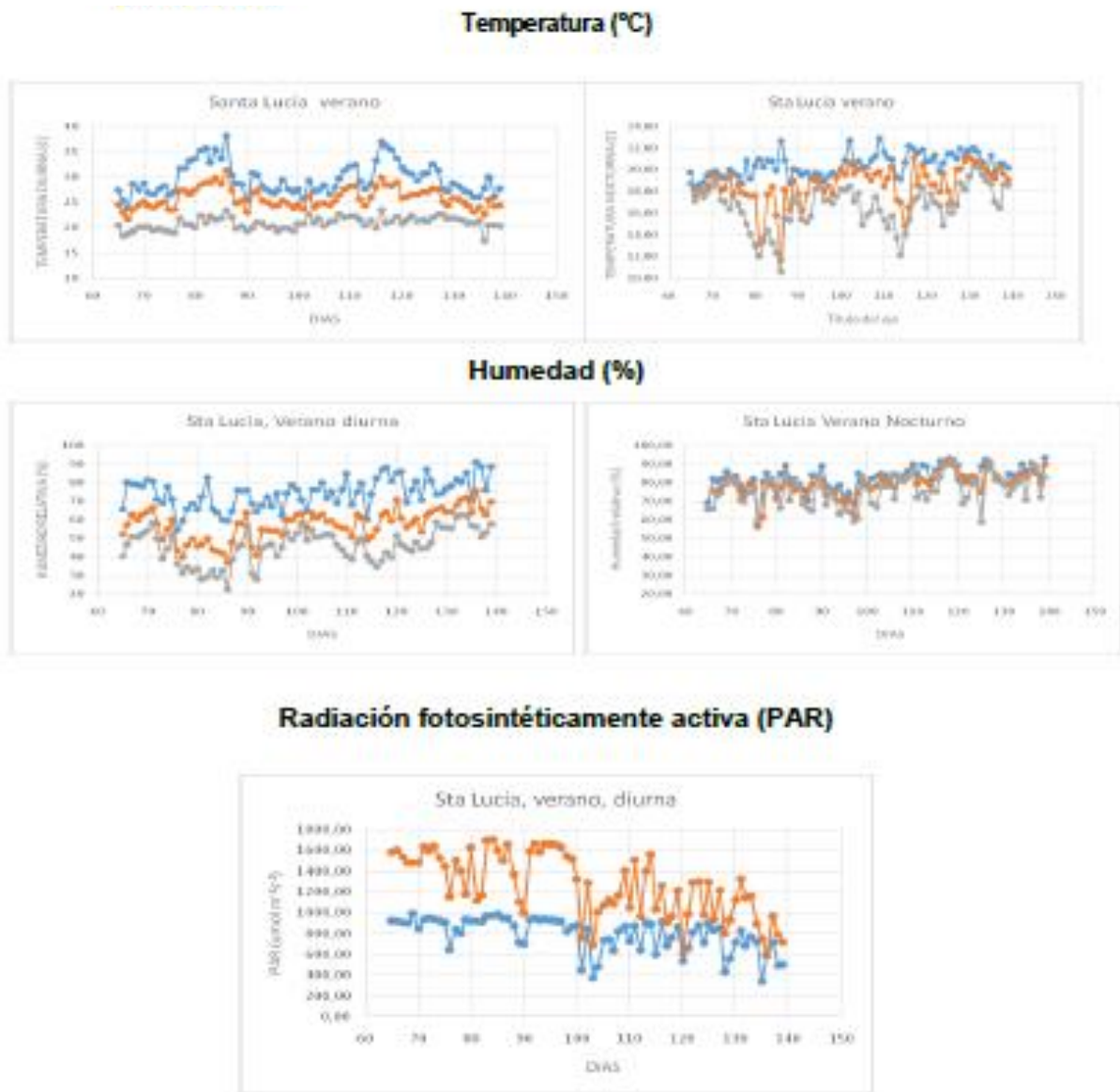


Figura 4. Comportamiento de las condiciones climática (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época seca del invernadero EESL.

La figura 5 presenta el comportamiento de la temperatura y humedad relativa máxima, mínima y promedio, para los períodos diurno y nocturno en la época lluviosa en el invernadero de la Estación Experimental Santa Lucía. Se incluye además la Radiación fotosintéticamente activa (PAR) evidentemente, diurna.

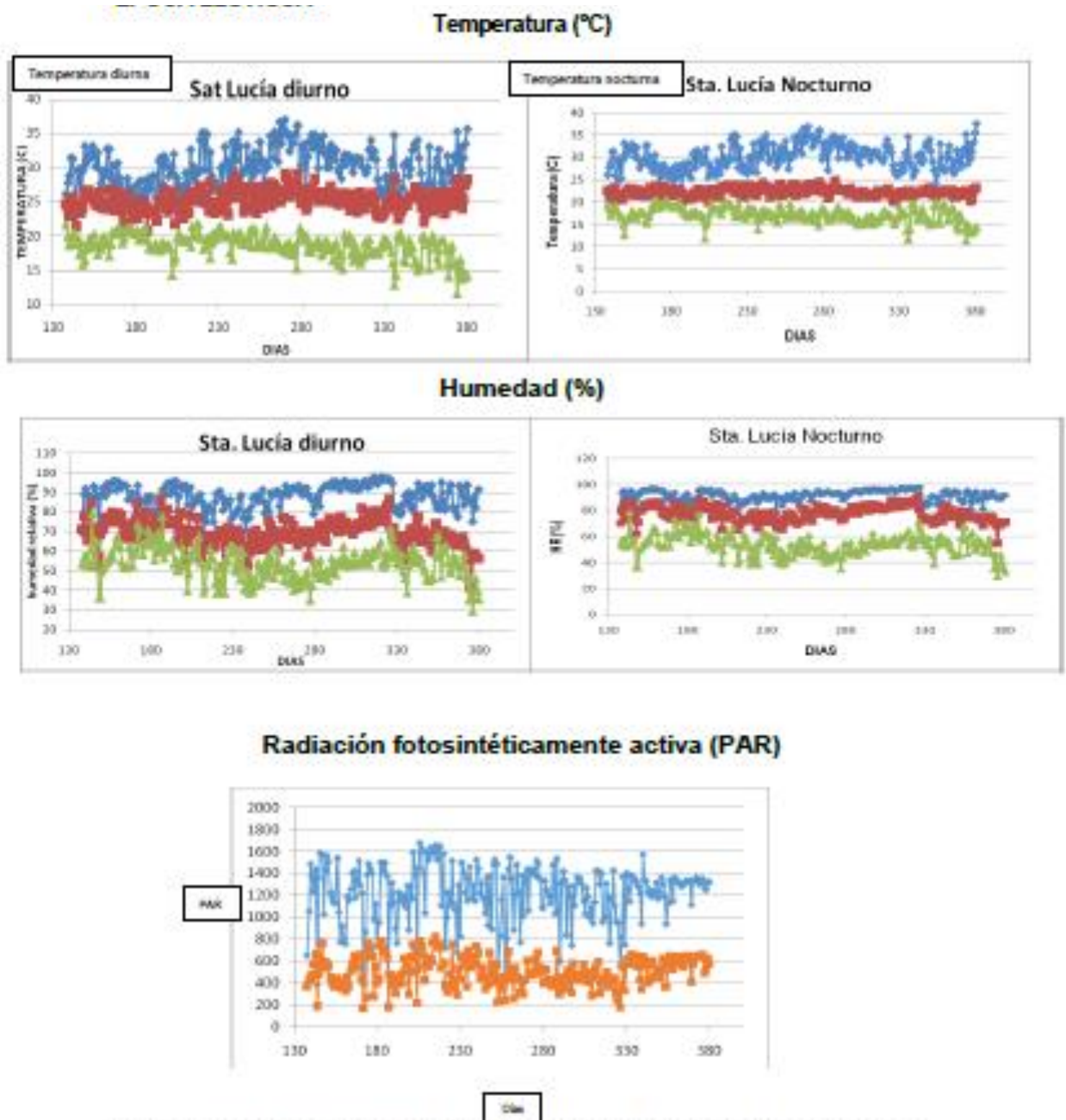


Figura 5. Comportamiento de las condiciones climáticas (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época lluviosa del invernadero EESL.

La figura 6 presenta los datos de temperatura y humedad relativa máxima, mínima y promedio, para los períodos diurno y nocturno en la época seca en el invernadero de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago. Se incluye además la Radiación fotosintéticamente activa (PAR) evidentemente, diurna.

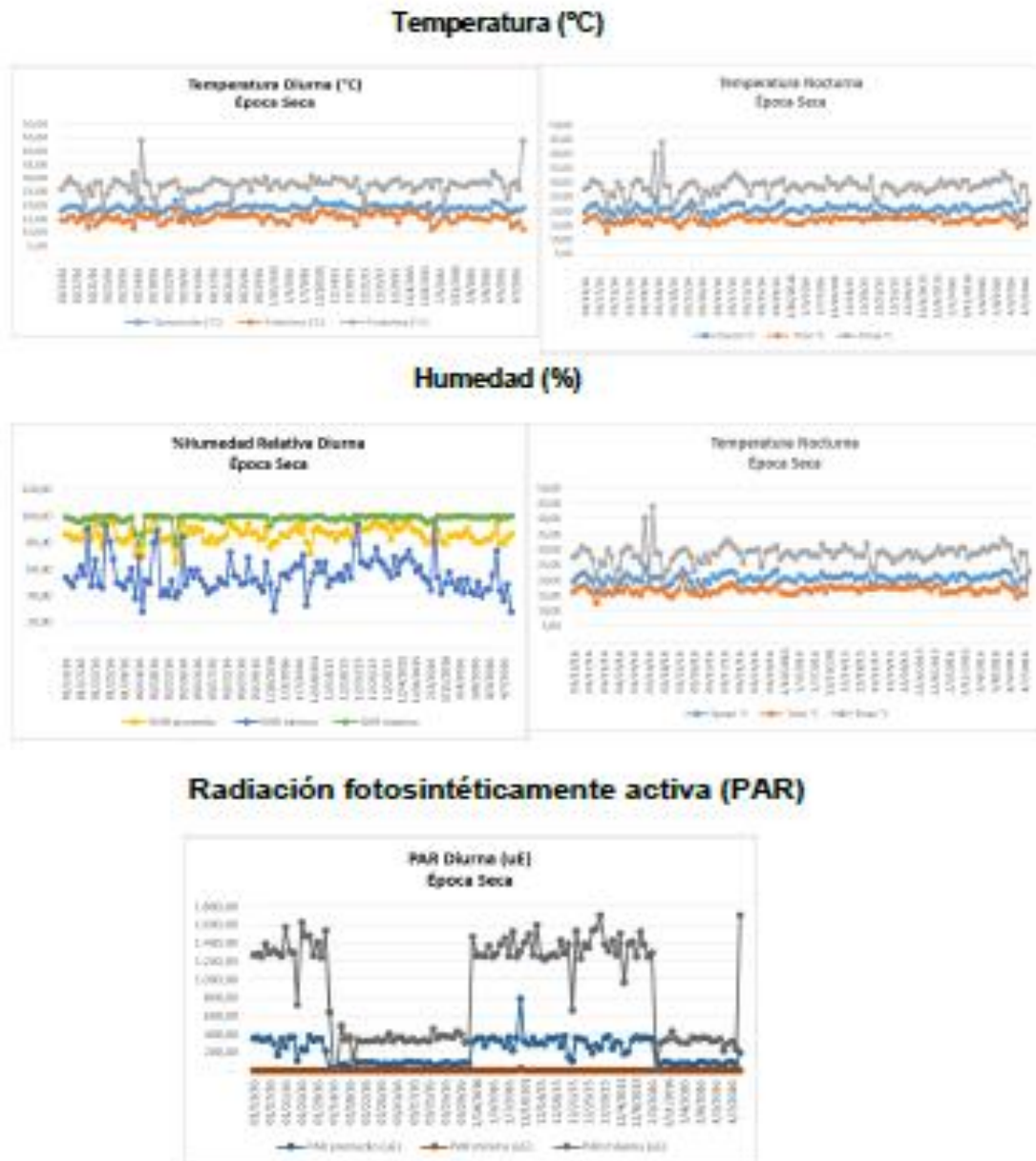


Figura 6. Comportamiento de las condiciones climáticas (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época seca del invernadero del ITCR.

La figura 7 presenta los datos de temperatura y humedad relativa máxima, mínima y promedio, para los períodos diurno y nocturno en la época lluviosa en el invernadero de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica en Cartago. Se incluye además la Radiación fotosintéticamente activa (PAR) evidentemente, diurna.

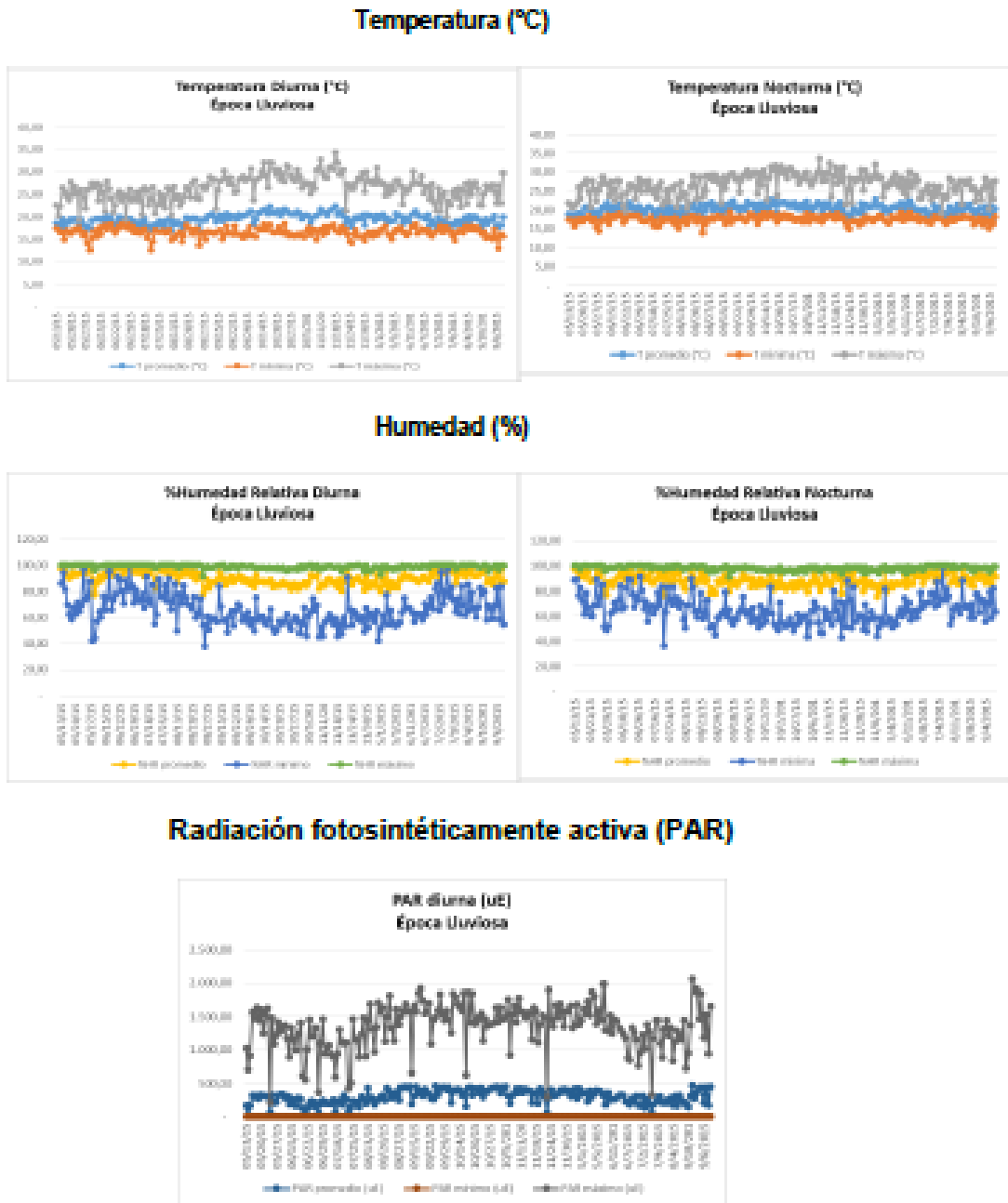


Figura 7. Condiciones climática (Temperatura, Humedad y Radiación Fotosintéticamente activa) en la época del lluviosa invernadero del ITCR.

Temperatura

Los promedios de temperatura diurna a través de ambas estaciones seca y lluviosa presentan poca variación temporal y el promedio general parece muy similar entre los viveros de la EEFB y la estación en Santa Lucía de Heredia (EESL). No así, este promedio de temperatura si es cualitativamente menor en el vivero del ITCR en Cartago.

Las temperaturas mínimas diurnas son más indicativas de las diferencias regionales en elevación entre los tres sitios, siendo mayores en EEFB, intermedias en la EESL y mucho menores en el vivero del ITCR. Ambos parámetros tienden a reducirse un poco hacia el final del año, lo que coincide con el final de la época lluviosa y conforme se acerca el solsticio de invierno.

Las temperaturas mínimas nocturnas continúan siendo bastante constantes a través del año y de las estaciones, con la excepción del invernadero de la EESL, en la cual, podría presentar algunas noches del verano mucho más frías que los promedios generales de los otros dos sitios (menores a 14 C), siendo incluso más frecuentes estos extremos fríos nocturnos que en el ITCR.

Humedad relativa

La humedad relativa es a grandes rasgos similar en comportamiento entre la noche y el día en los tres sitios. A saber, en época seca, es poco común encontrar valores promedios de HR cercanos a 100% en EEFB y en la EESL. En la época lluviosa esta tendencia se mantiene, aunque el EESL si se satura el ambiente con valores muy altos durante casi todas las noches. El patrón de HR es siempre muy alto en el ITCR de día y de noche en ambas estaciones.

En el EEFB es común observar valores mínimos promedio de HR cercanos al 30%. En la EESL ocurren estos días muy secos pero solos en periodos cortos en la estación seca, mientras que en ITCR, solo varios días esporádicos, las plantas podrían experimentar valores cercanos al 30%.

Radiación fotosintéticamente activa (RFA)

La RFA sigue patrones estacionales y diarios esperados, con especial interés en los siguientes hechos. Existe una mayor probabilidad de valores máximos muy altos en la época seca en la EEFB, mientras que los promedios diarios de RFA son mayores en la EESL y los menores en el ITCR. Los valores promedios de RFA diarios son menores en el ITCR. Es de especial importancia señalar que la variación diaria de RFA a través del verano es poca entre días en la EEFB, mientras que en la EESL y en el ITCR, existe alta variación de día a día en ambas estaciones de crecimiento.

Este patrón más común en ITCR y EESL evidencia un mayor efecto de cambios en el paso de nubes sobre el terreno de estos sitios. El promedio diario de RFA es bastante bajo en el ITCR en ambas estaciones.

De manera más o menos general, se podría mencionar que los invernaderos bloquean entre un 25 a un 40% de la RFA, comparado con el ambiente externo.

RESUMEN GENERAL DEL CLIMA INTERNO

Los tres sitios difieren de manera importante en las variaciones diarias de la T, HR y RFA, en especial durante el día. Es posible observar que hay un gradiente claro que en mayor proporción está explicado por las diferencias en elevación altitudinal entre los tres sitios. Sin embargo es posible atribuir ciertas particularidades desprendidas de estos juegos de datos.

El invernadero del sitio de EEFB es siempre más seco, más caliente y la radiación son más constantes.

El invernadero del sitio EESL es intermedio en temperatura, humedad y radiación, pero presenta evidencia de una mayor variación entre días en grado de nubosidad y una alta probabilidad de días con temperaturas mínimas más bajas, incluso que el ITCR.

El invernadero del sitio ITCR es el más fresco, más húmedo y con menores valores de RFA a través de ambas estaciones.

Por tanto, la necesidad de aplicaciones más eficientes de fertirriego son más intensas en el sitio EEFB, luego en el EESL y por último en el ITCR.

Se desprende que las estaciones de crecimiento de ambos cultivos podrían alargarse un poco más en los sitios conforme se asciende en altura y humedad.

8.1.2. Meta 2: Caracterizar la respuesta morfo-fisiológico de los cultivos según zona de estudios.

CULTIVOS EN LA ESTACION EXPERIMENTAL FABIO BAUDRIT (UCR)

Durante el cultivo del pepino durante la estación seca del 2015, los promedios de las cuatro variables fotosintéticas medidas no produjeron ninguna diferencia significativa entre los dos tratamientos de drenaje (Figura 1). Sin embargo es posible observar que el tratamiento con menos drenaje tiende a tener un mejor uso del agua. El cultivo del pepino en la época lluviosa produjo los mismos resultados (Figura 8).

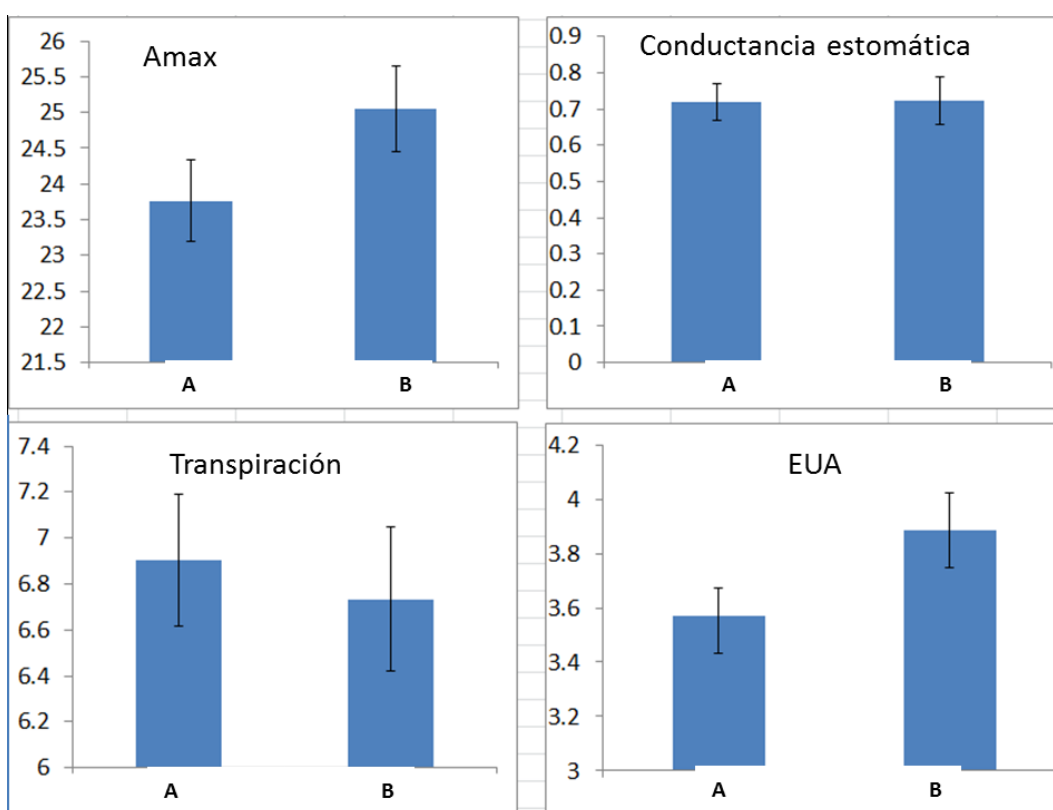


Figura 8. Medias (\pm EE) de variables del intercambio de gases foliar de hojas de pepino cultivado en estación seca (Periodo Vegetativo) en la Estación Experimental F. Baudrit. Variables: Amax: Asimilación máxima ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Transpiración ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), EUA: Eficiencia del uso del agua ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Tratamientos: A: testigo, B: 20% drenaje.

Los resultados obtenidos con base en estas cuatro variables del intercambio de gases a nivel foliar se presentan en la Figura 9, e incluyen las mediciones en la fase vegetativa y reproductiva de ambos cultivos crecidos durante la época lluviosa (2015). La Figura 9 solo muestra una diferencia significativa entre las medias de la transpiración por tratamiento de drenaje en las plantas de chile en estado vegetativo. Ninguna otra comparación individual fue estadísticamente importante. Un análisis de variancia de dos vías realizado para cada especie con la fase y el tratamiento de drenaje como factores produjeron muy pocos efectos importantes.

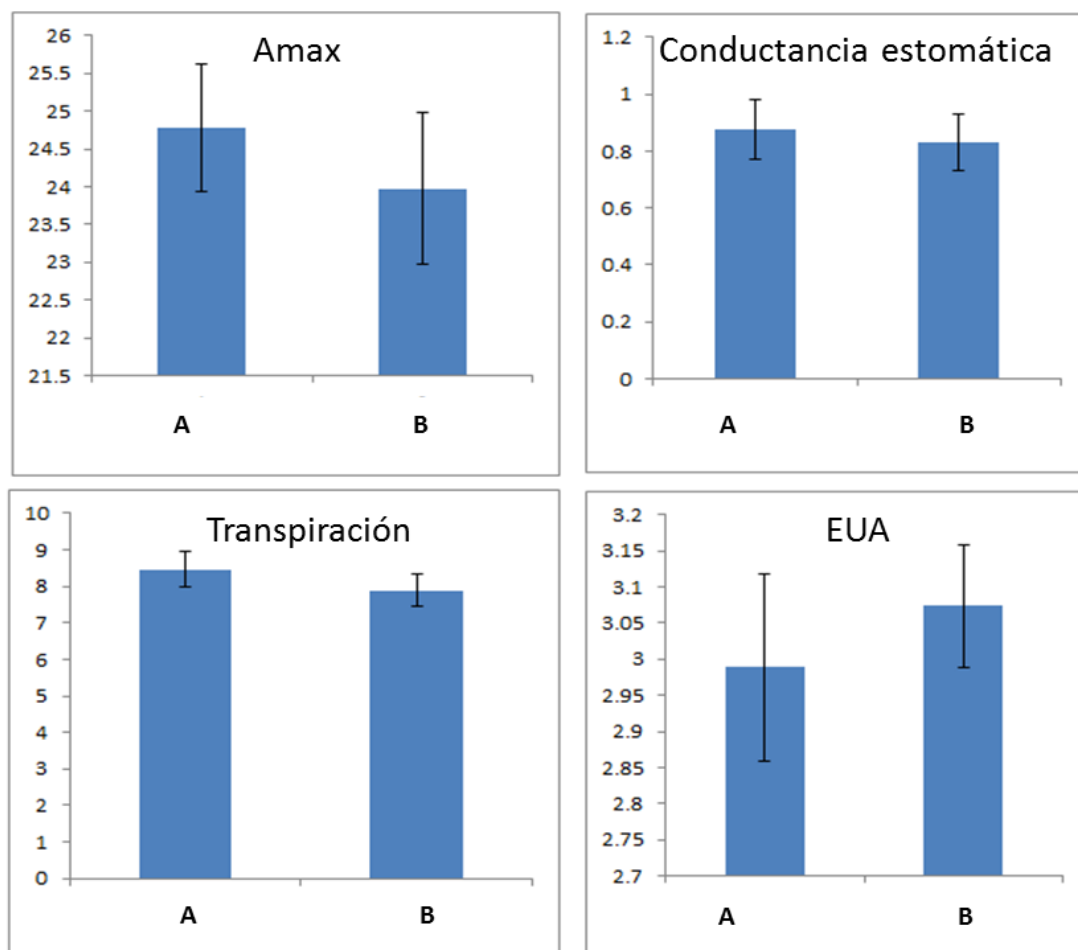


Figura 9. Medias (\pm EE) de variables del intercambio de gases foliar de hojas de pepino cultivado en estación lluviosa (periodo reproductivo) en la Estación Experimental F. Baudrit. Variables y tratamientos igual que en la figura 8.

CULTIVOS EN LA ESTACIÓN AGRÍCOLA SANTA LUCÍA (UNA)

La figura 10 refleja que en el chile, la fase vegetativa afectó de manera importante las medias de A_{max} , conductancia estomática y transpiración; mientras que en pepino este efecto solo se aprecia en A_{max} . Es importante anotar que la eficiencia del uso del agua no produjo ningún efecto las dos especies debido al tratamiento de drenaje.

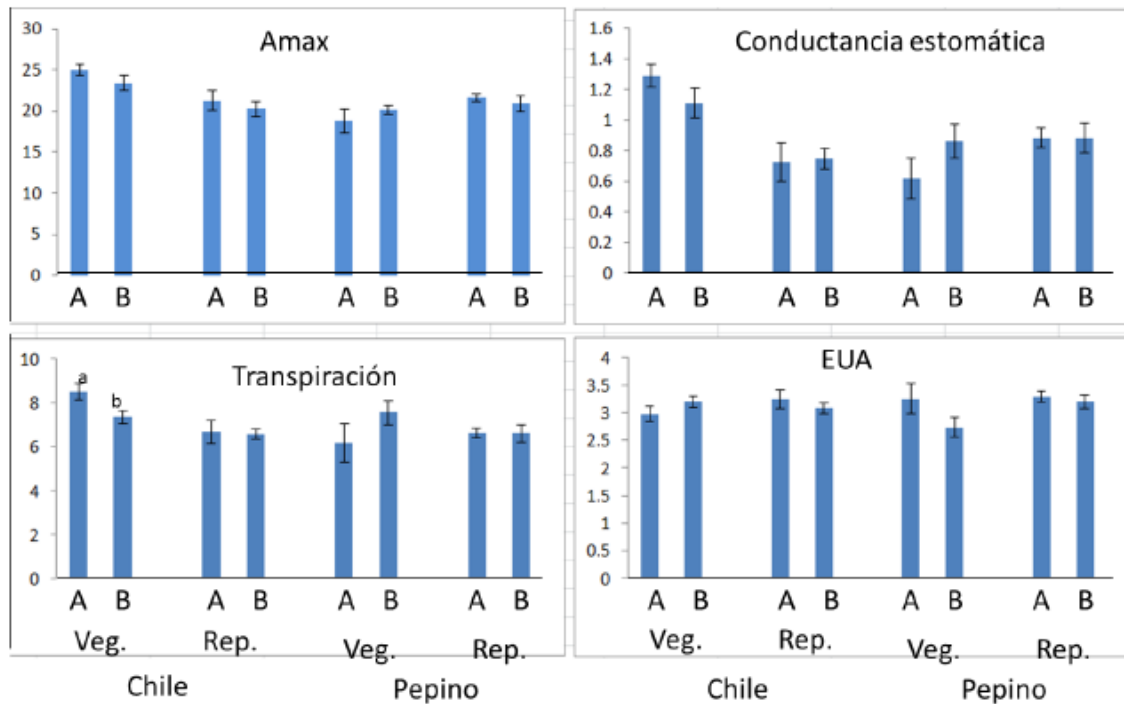


Figura 10. Medias (\pm EE) de las cuatro variables del intercambio de gases foliares de dos especies de hortalizas (Chile Natalie y Pepino) crecidos en condiciones de invernadero en Santa Lucía de Heredia. Variables y tratamientos igual que en la figura 8.

Se destaca el hecho de que la fisiología foliar del intercambio de gases en estas dos especies indica que los cultivos se ajustaron adecuadamente a las condiciones impuestas por las diferencias en el grado de drenaje en su sustrato. Existen sin embargo una serie de aspectos finos de la aclimatación ambiental que las plantas están ejecutando que son indicadores de efectos fisiológicos sutiles que se desprenden de aspectos como marchitez de las hojas hacia las horas de mediodía, periodos en los cuales pueden existir diferencias de temperatura de hasta tres y cuatro grados entre la temperatura ambiental y la foliar. Esto sugiere que sería importante realizar estudios fisiológicos más detallados que ayuden

a discernir la capacidad plástica de estos genotipos a crecer en ambientes controlados. Bajo condiciones de salud foliar fotosintética, el cociente F_v/F_m arroja un valor de ~ 0.85 (Tambussi y Graciano 2010).

En el cultivo de chile y pepino de la época lluviosa los valores de F_v/F_m fueron significativamente menores a 0.85 (Figura 11). Las medias de F_v/F_m en chile dulce son significativamente menores que el pepino, sin embargo no se detectó un efecto importante entre los tratamientos de drenaje.

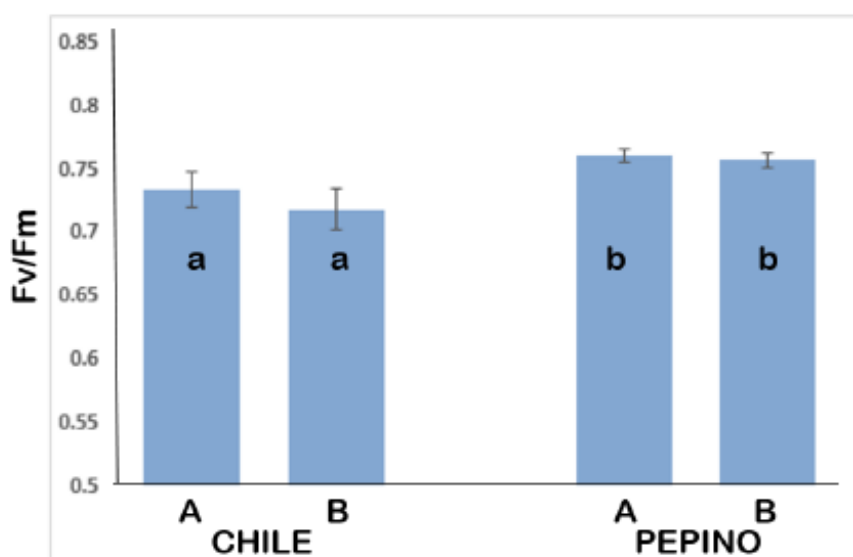


Figura 11. Valores medios ($\pm EE$) del rendimiento cuántico del FSII (F_v/F_m) medidos en hojas de dos especies de hortalizas crecidas en ambientes protegidos en Santa Lucía, Heredia. El cultivo corresponde con la época lluviosa del 2015.

CULTIVO EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA (ITCR)

Solamente se logró medir una sola vez el cultivo de chile dulce establecido en el ITCR. Este cultivo tuvo problemas de control de plagas muy intenso y el desarrollo de las plantas fue insuficiente. A pesar de esto, logramos rescatar algunas plantas que estaban en condiciones aceptables y algunas de sus hojas estaban poco dañadas. Estas mediciones son metodológicamente no comparables con las plantas de los otros dos sitios. Sin embargo, se presentan los resultados finales de las cuatro variables medidas en el intercambio gaseoso foliar de 8 plantas de cada tratamiento. El estado general de las

plantas del cultivo de pepino imposibilitó hacer mediciones con este sistema, dado el estado avanzado de la infección con la plaga. En el caso del chile dulce, todas las variables del intercambio gaseoso fueron mayores en el tratamiento control, pero solamente la asimilación máxima (hojas inducidas y medidas a $1200 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$) fue significativamente mayor (Figura 12) Es posible concluir de manera similar a las respuestas obtenidas con los otros cultivos en La Garita y en Barva, que las plantas de chile dulce sí parecen ajustar su fisiología fotosintética a las condiciones prevalecientes en cada invernadero y que bajo una condición mediana de estrés hídrico, logra ajustar su ganancia de carbono y su capacidad de perder agua logrando así la ausencia de diferencias en la eficiencia del uso del agua. Sin embargo, solo en esta situación en el ITCR, la EUA promedio no fue mayor en el tratamiento con menor disponibilidad de agua.

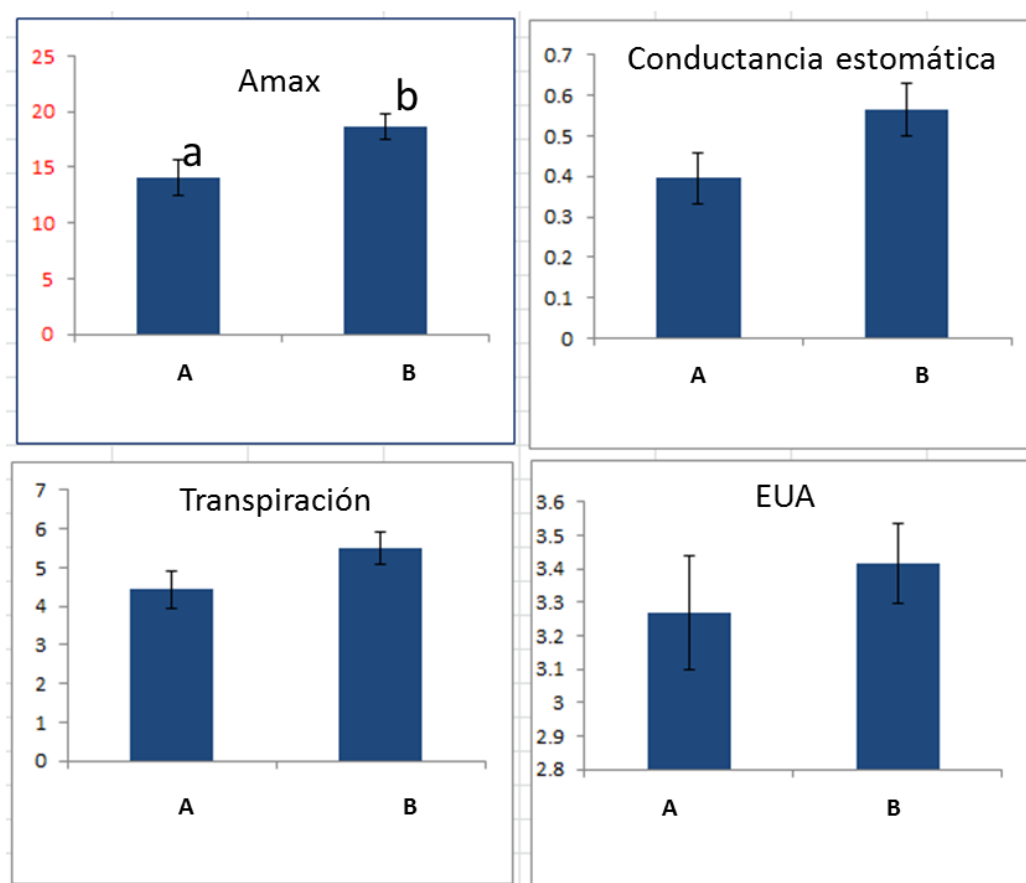


Figura 12. Medias (\pm EE) de variables del intercambio de gases foliar de hojas de chile dulce Natalie cultivado en estación lluviosa (periodo reproductivo) en la Escuela de Ingeniería Agrícola del ITCR, Cartago. Variables y tratamientos igual que en la figura 8.

8.1.3. Meta 3: Determinar la respuesta productiva de los cultivos según zona de estudio

**INVERNADERO ESTACION EXPERIMENTAL FABIO BAUDRIT (EEAFBM)
- UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

Se realizó un ensayo en que se emplearon dos tratamientos de aporte hídrico (10 % y 30 % de drenaje), para pepino y chile dulce, en dos épocas de siembra. El cuadro 8 presenta los resultados obtenidos para pepino en la época seca.

Cuadro 8. Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca

Pepino	Tratamiento (% drenaje)		
	10%	30%	
Variable			
No. total frutos/m ²	57,46 a	62,92 b	*
Rendimiento total (kg/m ²)	17,85 a	19,37 a	
Peso promedio total fruto (g)	310,36 a	308,10 a	
Área foliar (cm ²)	37831,41 a	39645,90 a	
Peso específico (mg/cm ²)	4,46 a	4,48 a	
Longitud tallo (cm)	711,4 a	682,6 a	
Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix) (11-3-15)	3,56 b	3,12 a	*
Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix) (22-4-15)	3,64 a	3,56 a	
Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix) (29-4-15)	3,00 a	2,96 a	
Clorofila (10-2-15)	42,00 b	40,60 a	*
Clorofila (11-3-15)	47,14 a	46,56 a	
Clorofila (29-4-15)	55,24 a	57,30 a	
Diámetro tallo a 0 m (mm)	12,68 a	11,87 a	
Diámetro tallo a 1 m (mm)	9,41 a	8,82 a	
Diámetro tallo a 2 m (mm)	8,30 a	7,70 a	
Diámetro tallo a 3 m (mm)	7,74 a	7,62 a	
Diámetro tallo a 4 m (mm)	7,33 a	6,88 a	
Diámetro tallo a 5 m (mm)	6,96 a	6,28 a	
Diámetro tallo a 6 m (mm)	5,76 a	5,32 a	

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 9 presenta los resultados obtenidos para chile dulce en la época seca.

Cuadro 9. Principales resultados en la cosecha de chile, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca

Chile dulce	Tratamiento (% drenaje)		
	10%	30%	
Variable			
No. total frutos/m ²	78,78 a	93,42 b	*
Rendimiento total (kg/m ²)	7,46 a	9,27 b	*
Peso promedio total fruto (g)	95,72 a	99,18 a	
Área foliar (cm ²)	20278,52 a	21218,93 a	
Peso específico (mg/cm ²)	6,40 a	6,26 a	
Altura planta (cm)	258,4 a	253,6 a	
Diámetro tallo a 0 m (mm)	16,84 a	18,06 a	
Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix) (11-3-15)	7,28 a	7,20 a	
Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix) (22-4-15)	9,20 a	9,28 a	
Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix) (29-4-15)	9,12 a	9,18 a	
Clorofila (18-12-14)	39,92 b	37,22 a	*
Clorofila (13-1-15)	49,62 a	51,92 a	
Clorofila (10-2-15)	58,90 a	59,58 a	
Clorofila (11-3-15)	55,36 a	57,82 b	*
Clorofila (29-4-15)	61,26 a	61,78 a	
Clorofila (13-5-15)	55,86 a	53,88 a	

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 10 presenta los resultados obtenidos para pepino en la época lluviosa.

Cuadro 10. Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.

Pepino	Tratamiento (% drenaje)		
	10%	30%	
Variable			
No. total frutos/m ²	72,59 b	62,62 a	*
Rendimiento total (kg/m ²)	23,19 a	20,08 a	
Peso promedio total fruto (g)	319,59 a	320,69 a	
Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)	3,08 a	2,97 a	

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 11 presenta los resultados obtenidos para chile dulce en la época lluviosa.

Cuadro 11. Principales resultados en la cosecha de chile, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.

Chile dulce	Tratamiento (% drenaje)		
	10%	30%	
Variable			
No. total frutos/m ²	102,81 a	97,93 a	
Rendimiento total (kg/m ²)	11,56 a	11,50 a	
Peso promedio total fruto (g)	112,38 a	117,27 a	
Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)	8,48 a	8,67 a	

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 12 resume la interacción de los resultados obtenidos según el porcentaje de drenaje y la época de siembra para el chile dulce.

Cuadro 12. Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo de chile dulce.

Chile dulce		Rendimiento total (kg/m ²)	Número total frutos/m ²	Peso promedio total del fruto (g)	Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)
% de drenaje	10	9,51 a	90,79 a	104,05 a	8,80 a
	30	10,39 b	95,65 a	108,22 a	8,92 a
Época	Seca	8,36 a	86,07 a	97,45 a	9,15 b
	Lluviosa	11,53 b	100,37 b	114,82 b	8,57 a
Interacción	Drenaje x Época	*	**	ns	ns
	10 % - seca	7,46 a	78,78 a	95,72 a	9,12 b
	10 % - lluviosa	11,56 c	102,81 c	112,38 b	8,48 a
	30 % - seca	9,27 b	93,36 b	99,17 a	9,18 b
	30 % - lluviosa	11,50 c	97,93 bc	117,27 b	8,67 a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

ns: no significativa

Entre los principales hallazgos para el chile dulce, se destaca la interacción entre los factores porcentaje de drenaje y época de siembra, para las variables rendimiento total y número total de frutos/m². A nivel general, el porcentaje de drenaje no afecta el número total de frutos/m², el peso promedio del fruto ni el porcentaje de sólidos solubles totales, pero sí afecta el rendimiento total, siendo mayor con el 30 % de drenaje. También a nivel general, las variables rendimiento total, número total de frutos/m² y peso promedio del fruto presentan valores mayores en la época lluviosa que en la época seca, pero el porcentaje de sólidos solubles totales es mayor en la época seca.

Sin embargo, debido a la interacción entre factores, no se presentaron diferencias significativas en el rendimiento entre los tratamientos de 10 % y 30 % de drenaje, durante

la época lluviosa; este resultado es muy interesante, pues justifica la posibilidad de ahorrar agua durante dicha época de siembra, al poder utilizar una menor cantidad de agua para la fertirrigación del cultivo, lo cual es muy importante desde el punto de vista económico y ambiental. Entre estos dos tratamientos, tampoco se presentaron diferencias significativas para las otras variables evaluadas.

Durante la época seca, sí se obtuvo un mayor rendimiento con el 30 % de drenaje, en comparación al 10 % de drenaje; lo mismo sucedió con el número de frutos/m². Por lo tanto, en el caso del chile dulce sí es recomendable utilizar un 30 % de drenaje durante esta época.

El cuadro 13 resume la interacción de los resultados obtenidos según el porcentaje de drenaje y la época de siembra para el cultivo de pepino.

Cuadro 13. Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del pepino.

Pepino		Rendimiento total (kg/m ²)	Número total frutos/m ²	Peso promedio total del fruto (g)	Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)
% de drenaje	10	20,52 a	65,02 a	314,97 a	3,36 b
	30	19,73 a	62,77 a	314,39 a	3,27 a
Época	Seca	18,61 a	60,19 a	309,22 a	3,60 b
	Lluviosa	21,64 b	67,60 b	320,14 a	3,03 a
Interacción	Drenaje x Época	*	**	ns	ns
10 % - seca		17,85 a	57,46 a	310,35 a	3,64 b
10 % - lluviosa		23,19 b	72,59 b	319,59 a	3,08 a
30 % - seca		19,37 a	62,92 a	308,10 a	3,56 b
30 % - lluviosa		20,08 a	62,62 a	320,69 a	2,97 a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

ns: no significativa

Entre los principales hallazgos para el pepino, se destaca la interacción entre los factores porcentaje de drenaje y época de siembra, para las variables rendimiento total y número total de frutos/m². A nivel general, el porcentaje de drenaje no afecta el rendimiento total, el número total de frutos/m² ni el peso promedio del fruto, pero sí afecta el porcentaje de sólidos solubles totales, siendo mayor con el 10 % de drenaje. También a nivel general, las variables rendimiento total y número total de frutos/m² presentan valores mayores en la época lluviosa que en la época seca, pero el porcentaje de sólidos solubles totales es mayor en la época seca.

Sin embargo, debido a la interacción entre factores, se presentaron diferencias significativas en el rendimiento total entre los tratamientos de 10 % y 30 % de drenaje, durante la época lluviosa, siendo mayor con el tratamiento de 10 %; este resultado es muy interesante, pues justifica la posibilidad de ahorrar agua durante dicha época de siembra, al poder utilizar una menor cantidad de agua para la fertirrigación del cultivo, al mismo tiempo que se obtiene un mayor rendimiento, lo cual es muy importante desde el punto de vista económico y ambiental. Entre estos dos tratamientos, también se presentaron diferencias significativas para el número total de frutos/m², siendo mayor la producción para el tratamiento de 10 % de drenaje.

Durante la época seca, no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos de 10 % y 30 % de drenaje para el rendimiento total; lo mismo sucedió para las otras variables evaluadas. Por lo tanto, en el caso del pepino es recomendable utilizar un 10 % de drenaje también durante esta época, con el fin de ahorrar agua, y obtener los mejores resultados económicos y ambientales.

INVERNADERO ESTACION EXPERIMENTAL SANTA LUCIA
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA

El cuadro 14 presenta los resultados para el chile en época seca para éste invernadero, observamos que el tratamiento 30% presentó mejores promedios de producción y de frutos por planta que el tratamiento 10% ambos con diferencias significativas. En este cultivo también se observa una mayor cantidad de frutos de primero pero también mayor cantidad de frutos de tercera para el tratamiento 1.

Cuadro 14. Principales resultados en la cosecha de chile dulce, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca.

Cultivo Chile dulce (<i>Capsicum annum</i>)			
Variable	30%	10%	
Rendimiento en área (kg/m ²)	3,50a	2,63b	*
Número de frutos por planta	9,11a	7,11b	*
Peso del fruto (g)	151,35a	136,23a	
Frutos categoría especial	5a	7a	
Frutos categoría primera	82a	46b	*
Frutos categoría segunda	109a	118a	
Frutos categoría tercera	50a	24b	*
Frutos categoría rechazo	9a	4a	

En cuanto al pepino para la misma época en el cuadro 15 puede observarse que el tratamiento 1 presentó un mayor rendimiento por planta así como un mayor número de frutos. Sin embargo no se observaron diferencias en la calidad de los frutos, su peso y grados brix.

Cuadro 15. Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca.

Cultivo pepino (<i>Cucumis sativus</i>)			
Variable	30%	10%	
Rendimiento en área (kg/m ²)	11,01a	9,42b	*
Número de frutos por planta	15,86a	13,68b	*
Peso del fruto (g)	701,84a	691,55a	
Grados Brix (°Bx)	2,00a	2,32a	
Frutos categoría primera	78a	62a	
Frutos categoría segunda	194a	162a	
Frutos categoría tercera	88a	75a	
Frutos categoría rechazo	97a	71a	

El cuadro 16 presenta los resultados para el cultivo de pepino en la época lluviosa, las principales diferencias se dieron en el desarrollo fenológico del cultivo presentándose plantas con tallos más gruesos en el tratamiento 1 con mayor consumo de agua y drenaje respecto al tratamiento 2.

Cuadro 16. Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.

Cultivo pepino (<i>Cucumis sativus</i>)			
Variable	30%	10%	
Diámetro de tallo según tratamiento (mm)	9,69a	9,28a	
Diámetro de tallo según fecha (mm)			
Momento 1	8,10a	8,42a	
Momento 2	10,28cd	9,53b	*
Momento 3	10,68d	9,88bc	*
Altura de las plantas (mts)	4,19a	3,83b	*
Días a primera cosecha (Días)	48	48	
Rendimiento en área (kg/m ²)	7,76a	7,10a	
Peso total de la cosecha (g/planta)	2903,19a	2653,56a	
Grados Brix (°Bx)	2,50a	2,57a	
Número de frutos por planta	11,43a	10,84a	
Peso del fruto (g)	254,62a	255,01a	
Frutos categoría primera	213a	224a	
Frutos categoría segunda	191a	218a	
Frutos categoría tercera	44a	28a	
Frutos categoría rechazo	23a	17a	
Consumo de agua (L)	107,34a	38,7b	*
Drenaje (%)	23,11a	12,84b	*

El cuadro 17 incluye los resultados para el cultivo de chile para los tratamientos de drenaje al 10% y al 30% durante la época lluviosa.

Cuadro 17. Principales resultados en la cosecha de chile dulce, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.

Cultivo chile dulce (<i>Capsicum annuum</i>)			
Variable	30%	10%	
Diámetro de tallo según tratamiento (mm)	12,42a	12,34a	
Diámetro de tallo según fecha (mm)			
Momento 1	10,93a	10,93a	
Momento 2	11,85b	11,55b	
Momento 3	14,49c	14,54c	
Altura de las plantas (mts)	2,00a	1,85b	*
Días a primera cosecha (días)	90,57a	89,2b	*
Rendimiento en área (kg/m ²)	6,94a	6,73a	
Peso total de la cosecha (g/planta)	2596,3a	2518,87a	
Grados Brix (°Bx)	6,28a	6,37a	
Número de frutos por planta	20,43a	20,80a	
Peso del fruto (g)	127,98a	121,85b	*
Frutos categoría especial	43a	27a	
Frutos categoría primera	242a	198b	*
Frutos categoría segunda	424a	548b	*
Frutos categoría tercera	158a	114b	*
Frutos categoría rechazo	32a	29a	
Consumo de agua (L)	77,13a	54,26b	*
Drenaje (%)	30,53a	12,49b	*

El cuadro 18, presenta los resultados para chile dulce en función de la época del año y del tratamiento según porcentaje de drenaje. De manera similar el cuadro 19 presenta los mismos resultados para el cultivo del pepino.

Cuadro 18. Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del chile dulce.

Chile dulce	Rendimiento total (kg/m ²)		Número total de frutos/planta	Peso promedio total del fruto (g)	Especial	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
% Drenaje	10	4.68a	13.95a	131.57a	17a	122a	266a	69a	16a
	30	5.22b	14.77a	139.67b	24a	162b	333b	104b	20a
Época	Seca	3.07a	8.11a	146.32b	6a	64a	113a	37a	6a
	Lluviosa	6.84b	20.61b	124.92a	35b	220b	486b	136b	30b
Interacción Drenaje * Época	*		*	**	*	*	*	*	*
10% - Seca	2.63a		7.11a	141.28b	7a	46a	118a	24a	4a
10% - Lluviosa	6.73c		20.80b	121.85a	27ab	198b	548c	114b	29bc
30% - Seca	3.5b		9.11a	151.35b	5a	82a	109a	50a	9ab
30% - Lluviosa	6.94c		20.43b	127.98a	43b	242b	424b	158b	32c

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

ns: no significativa

Cuadro 19. Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del pepino.

Pepino	Rendimiento total (kg/m ²)		Número total de frutos/planta	Peso promedio total del fruto (g)	Primera	Segunda	Tercera	Rechazo
% Drenaje	10	8.26a	11.99a	263.41a	143a	190a	66a	44a
	30	9.39b	13.10b	280.10a	145a	192a	51a	60b
Época	Seca	10.22b	14.77b	260.57a	70a	178a	81b	20a
	Lluviosa	7.43a	10.32a	282.94a	218b	204a	36a	84b
Interacción Drenaje * Época	*		*	ns	*	*	*	*
10% - Seca	9.42b		13.68b	258.64a	62a	162a	88c	71b
10% - Lluviosa	7.10a		10.30a	268.17a	224b	218b	44ab	17a
30% - Seca	11.01c		15.86c	262.49a	78a	194ab	74bc	97b
30% - Lluviosa	7.76a		10.34a	297.70a	213b	191ab	28a	23a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

ns: no significativa

INVERNADERO ESCUELA DE INGENIERIA AGRICOLA
- INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA

Se realizó un ensayo en que se emplearon dos tratamientos de aporte hídrico (10 % y 30 % de drenaje), para pepino y chile dulce, en dos épocas de siembra (seca y lluviosa). El cuadro 20 presenta los principales resultados para el cultivo de pepino en la época seca:

Cuadro 20. Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca.

Pepino	Tratamiento (% drenaje)	
	10%	30%
Variable		
No. total frutos/m ²	49,60 a	76,80 a
Rendimiento total (kg/m ²)	16,45 a	23,30 a
Peso promedio total fruto (g)	331,65 a	303,39 a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

El cuadro 21 presenta los principales resultados para el cultivo de chile dulce en la época seca:

Cuadro 21. Principales resultados en la cosecha de chile, con dos tratamientos de suministro de agua en la época seca.

Chile dulce	Tratamiento (% drenaje)		
	10%	30%	
Variable			
No. total frutos/m ²	33,00 a	15,75 a	
Rendimiento total (kg/m ²)	2,73 a	1,55 a	
Peso promedio total fruto (g)	82,57 a	98,41 b	**

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

El cuadro 22 presenta los principales resultados para pepino con ambos tratamientos de drenaje (10% y 30%) para la época lluviosa.

Cuadro 22. Principales resultados en la cosecha de pepino, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.

Pepino	Tratamiento (% drenaje)		
	10%	30%	
Variable			
No. total frutos/m ²	31,20 a	65,40 a	
Rendimiento total (kg/m ²)	9,76 a	11,07 a	
Peso promedio total fruto (g)	312,70 a	169,31 b	**

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

El cuadro 23 presenta los principales resultados para chile dulce con ambos tratamientos de drenaje (10% y 30%) para la época lluviosa.

Cuadro 23. Principales resultados en la cosecha de chile, con dos tratamientos de suministro de agua en la época lluviosa.

Chile dulce	Tratamiento (% drenaje)		
	10%	30%	
Variable			
No. total frutos/m ²	50,85 a	41,85 a	
Rendimiento total (kg/m ²)	5,80 a	4,648 a	
Peso promedio total fruto (g)	114,00 a	111,06 a	

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

El cuadro 24, presenta los resultados para chile dulce en función de la época del año y del tratamiento según porcentaje de drenaje.

Cuadro 24. Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo de chile dulce.

Chile dulce		Rendimiento total (kg/m ²)	Número total frutos/m ²	Peso promedio total del fruto (g)
% de drenaje	10	8,52 a	83,85 a	101,64 a
	30	6,20 a	57,60 a	107,60 a
Época	Seca	4,28 a	65,00 a	65,749 a
	Lluviosa	10,45 b	92,70 a	112,68 b
Interacción Época	Drenaje x	**	**	**
	10 % - seca	4.65 b	41.85 a	111.06 b
	10 % - lluviosa	5.80 c	50.85 c	114.00 c
	30 % - seca	1.55 a	21.00 a	73.81 a
	30 % - lluviosa	2.73 a	44.00 b	61.93 a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

*interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

ns: no significativa

Con respecto a la producción de chile dulce a partir de los resultados del cuadro 22, es posible concluir que, para las condiciones de la prueba realizada en las condiciones del invernadero del Instituto Tecnológico localizado en Cartago, que el porcentaje de drenaje no influye de manera significativa sobre el rendimiento total, el número de frutos, ni el peso promedio total de los frutos. Se puede afirmar que la época de siembra afecta de manera significativa el rendimiento total y el peso promedio de los frutos, pero no interactúa en el número total de frutos, es notable además que los mayores valores de las variables señaladas se dan durante la época lluviosa.

Por otro lado, la combinación entre el porcentaje de drenaje y la época de siembra afectan de manera altamente significativa el rendimiento total, el peso promedio de los frutos y el número total de frutos, obteniéndose los valores más altos con 10% de drenaje durante la época lluviosa; por otro lado, es destacable que en la época seca se obtienen mejores promedios de las tres variables con el mismo porcentaje de drenaje, lo que hace posible el ahorro de agua al usar un 10% de drenaje en cualquier condición del año.

El cuadro 25 presenta los resultados para chile dulce en función de la época del año y del tratamiento según porcentaje de drenaje

Cuadro 25. Interacción época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del pepino.

Pepino		Rendimiento total (kg/m ²)	Número total frutos/m ²	Peso promedio total del fruto (g)
% de drenaje	10	29.71 a	142.20 a	208.952 a
	30	22.92 a	80.80 a	283.617 b
Época	Seca	31.80 a	126.40 a	251.58 a
	Lluviosa	20.83 b	96.60 b	215.62 a
Interacción Drenaje x Época		**	**	**
10 % - seca		13.16 b	49.60 a	265.32 b
10 % - lluviosa		9.76 a	31.20 a	312.70 c
30 % - seca		18.64 c	76.80 c	242.71 a
30 % - lluviosa		11.07 a	65.40 b	169.31 a

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

ns: no significativa

Con respecto a la producción de pepino a partir de los resultados del cuadro 25, es posible concluir que, para las condiciones de la prueba realizada en las condiciones del invernadero del Instituto Tecnológico localizado en Cartago, el porcentaje de drenaje no afecta de manera significativa el rendimiento total, ni el número total de frutos, pero si afecta el peso promedio de frutos, dándose un valor más alto con un drenaje del 30%.

La combinación entre el porcentaje de drenaje y la época de siembra afectan de manera altamente significativa todas las variables estudiadas el rendimiento total, el peso promedio de los frutos y el número total de frutos, obteniéndose mayores valores de rendimiento y número total de frutos durante la época seca con un 30% de drenaje, es destacable que para ambas variables en la época seca se obtienen también valores más altos con ese mismo porcentaje de drenaje. En cuanto al peso promedio del fruto se

obtienen valores más altos durante la época lluviosa con un 10% de drenaje, de manera similar en la época lluviosa se obtienen mejores pesos promedios con este porcentaje de drenaje.

INTERACCIÓN ÉPOCA VERSUS PORCENTAJE DE DRENAJE VERSUS LOCALIDAD

Con el objetivo de estudiar las interacciones de la época versus el porcentaje de drenaje se realizaron interacciones entre los datos recopilados en el invernadero de la Estación Experimental Fabio Baudrit de la Universidad de Costa Rica y los de la Finca Experimental Santa Lucia de la Universidad Nacional. El cuadro 26 resume dicha interacción para el cultivo de chile dulce.

Cuadro 26. Interacción entre los invernaderos de la UNA y de la UCR según la época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del chile dulce.

Chile dulce		Rendimiento total (kg/m ²)	Número total frutos/m ²	Peso promedio total del fruto (g)	Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)
Porcentaje de drenaje	10	7,14 a	64,29 a	118,54 a	7,99 a
	30	7,80 b	67,57 a	123,94 a	8,04 a
Época	Seca	5,75 a	54,11 a	122,62 a	9,15 b
	Lluviosa	9,18 b	77,74 b	119,87 a	7,45 a
Localidad	Heredia	4,99 a	38,64 a	136,35 b	6,33 a
	Alajuela	9,95 b	93,22 b	106,13 a	8,86 b
Interacción Drenaje x Época		**	**	ns	ns
Interacción Drenaje x Localidad		ns	ns	ns	ns
Interacción Época x Localidad		ns	**	**	nd
Interacción Drenaje x Época x Localidad		ns	ns	ns	nd
Reducido – seca		5,12 a	49,37 a	119,97 a	9,12 b
30 % - seca		6,39 b	58,86 b	125,26 a	9,18 b
Reducido – lluviosa		9,15 c	79,21 c	117,12 a	7,42 a
30 % - lluviosa		9,22 c	76,28 c	122,63 a	7,47 a
Reducido – Heredia		4,76 a	37,78 a	133,04 b	6,37 a
30 % - Heredia		5,22 a	39,49 a	139,67 b	6,28 a
Reducido – Alajuela		9,51 b	90,79 b	104,05 a	8,80 b
30 % - Alajuela		10,39 c	95,65 c	108,22 a	8,92 b

Seca – Heredia	3,15 a	22,15 a	147,79 d	nd
Lluviosa – Heredia	6,84 b	55,12 b	124,92 c	6,33 a
Seca – Alajuela	8,36 c	86,07 c	97,45 a	9,15 c
Lluviosa - Alajuela	11,53 d	100,37 d	114,82 b	8,57 b
Reducido – seca – Heredia	2,79 a	19,96 a	144,23 d	nd
30 % - seca – Heredia	3,50 a	24,35 a	151,35 d	nd
Reducido – lluviosa – Heredia	6,73 b	55,60 b	121,85 bc	6,37 a
30 % - lluviosa – Heredia	6,94 b	54,63 b	127,98 c	6,28 a
Reducido – seca – Alajuela	7,46 b	78,78 c	95,72 a	9,12 c
30 % - seca – Alajuela	9,27 c	93,36 d	99,17 a	9,18 c
30 % - lluviosa – Alajuela	11,50 d	97,93 de	117,27 bc	8,67 bc
Reducido – lluviosa - Alajuela	11,56 d	102,81 e	112,38 b	8,48 b

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

ns: no significativa

nd: no hay dato

En el caso del chile dulce, se observa que el rendimiento total es mayor con el porcentaje de drenaje de 30 %, en la época lluviosa, y en Alajuela. Sin embargo, a nivel de tratamientos, no hubo diferencias significativas en la época lluviosa en Alajuela, entre 10 % y 30 % de drenaje, pero sí se presentaron diferencias en esa localidad en la época seca, siendo mayor el rendimiento con el 30 % de drenaje.

Solamente se presentan diferencias en el peso del fruto entre localidades, donde los frutos de mayor peso se obtuvieron en Heredia; además, en ese sitio, los frutos de mayor peso curiosamente se obtuvieron durante la época seca. El porcentaje de sólidos solubles totales fue mayor en la época seca, y en Alajuela.

La interacción drenaje por época fue significativa, lo cual se aprecia en el hecho de que en la época seca el mayor rendimiento se obtuvo con 30 % de drenaje, pero en la época lluviosa no hubo diferencias entre los tratamientos de drenaje.

El cuadro 27 resume dicha interacción señalada para el cultivo de pepino.

Cuadro 27. Interacción entre los invernaderos de la UNA y de la UCR según la época del año (Seca-Lluviosa) y el porcentaje de drenaje para el cultivo del pepino.

Pepino		Rendimiento total (kg/m ²)	Número total frutos/m ²	Peso promedio total del fruto (g)	Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)
Porcentaje de drenaje	10	14,39 a	48,54 a	397,41 a	2,90 a
	30	14,56 a	48,90 a	407,08 a	2,76 a
Época	Seca	14,41 a	49,84 a	502,96 b	2,88 a
	Lluviosa	14,53 a	47,59 a	301,53 a	2,78 a
Localidad	Heredia	8,82 a	33,54 a	489,82 b	2,35 a
	Alajuela	20,12 b	63,90 b	314,68 a	3,31 b
Interacción Drenaje x Época		**	**	ns	ns
Interacción Drenaje x Localidad		*	ns	ns	ns
Interacción Época x Localidad		**	**	**	**
Interacción Drenaje x Época x Localidad		*	ns	ns	ns
Reducido – seca		13,64 a	47,02 ab	500,95 b	2,98 a
30 % - lluviosa		13,92 a	45,13 a	309,19 a	2,74 a
Reducido – lluviosa		15,14 b	50,06 bc	293,88 a	2,83 a
30 % - seca		15,19 b	52,66 c	504,97 b	2,78 a
Reducido – Heredia		8,26 a	32,05 a	479,86 b	2,45 a
30 % - Heredia		9,39 b	35,02 a	499,77 b	2,25 a
30 % - Alajuela		19,73 c	62,77 b	314,39 a	3,27 b
Reducido – Alajuela		20,52 c	65,02 b	314,97 a	3,36 b
Lluviosa – Heredia		7,43 a	27,59 a	282,93 a	2,54 b
Seca – Heredia		10,22 b	39,49 b	696,70 c	2,16 a
Seca – Alajuela		18,61 c	60,19 c	309,22 ab	3,60 d
Lluviosa - Alajuela		21,64 d	67,60 d	320,14 b	3,03 c
Reducido – lluviosa – Heredia		7,10 a	27,53 a	268,17 a	2,57 b

30 % - lluviosa – Heredia	7,76 ab	27,65 a	297,70 ab	2,50 b
Reducido – seca – Heredia	9,42 bc	36,57 b	691,55 c	2,32 ab
30 % - seca – Heredia	11,01 c	42,40 b	701,84 c	2,00 a
Reducido – seca – Alajuela	17,85 d	57,46 c	310,35 ab	3,64 d
30 % - seca – Alajuela	19,37 de	62,92 c	308,10 ab	3,56 d
30 % - lluviosa – Alajuela	20,08 e	62,62 c	320,69 b	2,97 c
Reducido – lluviosa - Alajuela	23,19 f	72,59 d	319,59 b	3,08 c

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

ns: no significativa

nd: no hay dato

En el caso del pepino, el único factor que influenció significativamente el rendimiento fue la localidad, siendo mucho mayor en Alajuela que en Heredia. En el caso del porcentaje de sólidos solubles totales, también fue la localidad el único factor que causó diferencias significativas, siendo mayores los valores obtenidos en Alajuela.

El peso del fruto fue mayor en la época seca, y en la localidad de Heredia. La interacción drenaje x época fue significativa, lo cual se evidencia al observar que no hubo diferencias en el rendimiento entre los tratamientos drenaje reducido en época lluviosa, y drenaje 30 % en época seca.

La interacción drenaje x localidad fue significativa; en el caso de Heredia el rendimiento fue mayor con el 30 % de drenaje, pero en Alajuela no hubo diferencias significativas entre ambos tratamientos de drenaje.

La interacción época x localidad también fue significativa; en Heredia el mayor rendimiento se obtuvo en la época seca, pero en Alajuela se obtuvo en la época lluviosa.

8.2. Objetivo específico 2: Conocer en cuanto a rendimiento y calidad la respuesta genotipo-ambiente de diferentes materiales de pepino en la estación experimental Fabio Baudrit para identificar los genotipos que presente mejor tolerancia al calor.

8.2.1. Meta 1: Determinar la respuesta productiva de los genotipos estudiados.

Se evaluaron 14 genotipos de pepino en el invernadero de la EEAFBM, en dos épocas de siembra (seca y lluviosa). El cuadro 28 presenta los datos del promedio de frutos cosechados por genotipo para la época seca.

Cuadro 28. Número de frutos de pepino cosechados según genotipo en la época seca.

Genotipo	Número total frutos/planta	Error Estándar			
<i>Katrina</i>	41,35	2,22	a		
<i>22-20-782</i>	38,67	2,28	a		
<i>22-20-783</i>	33,80	2,06	a		
<i>Primavera</i>	24,31	0,75		b	
<i>Macario</i>	22,78	1,04		b	c
<i>Corinto</i>	22,16	2,37		b	c
<i>Modan RZ</i>	22,04	1,07		b	c
<i>Paraíso</i>	21,63	1,32		b	c
<i>Roxinante</i>	20,79	0,68		b	c
<i>Dreamliner</i>	20,27	1,67		b	c
<i>Paisaje RZ</i>	20,13	0,45		b	c
<i>Kalunga</i>	18,90	1,34		b	c
<i>Cumlaude RZ</i>	17,63	0,71		b	c
<i>Arioso F1</i>	15,03	1,17			c
Media general	24,25	1,37			

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 29 presenta los datos del peso promedio de frutos cosechados para la época seca según los diferentes genotipos.

Cuadro 29. Peso promedio de frutos de pepino cosechados según genotipo en la época seca.

Genotipo	Peso promedio total del fruto (g)	Error Estándar			
<i>Kalunga</i>	478,33	29,91	a		
<i>Arioso F1</i>	469,75	36,17	a		
<i>Roxinante</i>	467,50	33,98	a		
<i>Cumlaude RZ</i>	458,42	35,35	a	b	
<i>Paisaje RZ</i>	452,00	26,34	a	b	
<i>Dreamliner</i>	451,67	31,13	a	b	
<i>Macario</i>	350,58	34,62	a	b	c
<i>Paraíso</i>	342,50	29,46	a	b	c
<i>Corinto</i>	341,67	28,58	a	b	c
<i>Primavera</i>	319,17	25,52		b	c
<i>Modan RZ</i>	281,67	27,33			c
<i>22-20-783</i>	227,42	14,45			c
<i>Katrina</i>	223,58	13,62			c
<i>22-20-782</i>	215,75	11,52			c
Media general	362,86	27,00			

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 30 presenta los datos del rendimiento total para la época seca según genotipos.

Cuadro 30. Rendimiento total de pepinos cosechados según genotipo en la época seca.

Genotipo	Rendimiento total (ton/ha)	Error Estándar		
Roxinante	258,03	9,19	a	
Katrina	253,17	6,89	a	
Dreamliner	241,09	24,96	a	b
Kalunga	233,11	13,88	a	b
Paisaje RZ	230,97	7,05	a	b
22-20-782	224,97	13,60	a	b
Primavera	222,44	7,97	a	b
Corinto	210,57	17,39	a	b
Paraíso	207,66	10,82	a	b
Cumlaude RZ	207,64	10,82	a	b
Macario	205,50	4,80	a	b
22-20-783	201,00	14,24	a	b
Arioso F1	180,77	17,47		b
Modan RZ	175,76	7,42		b
Media general	218,05	48,95		

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 31 presenta los porcentajes de sólidos solubles (grados brix) para cada genotipo.

Cuadro 31. Porcentaje de sólidos solubles totales de pepinos cosechados según genotipo en la época seca.

Genotipo	Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)	Error Estándar					
Macario	3,89	0,09	a				
Corinto	3,71	0,09	a	b			
Cumlaude RZ	3,68	0,21	a	b	c		
Kalunga	3,67	0,03		b	c		
Paisaje RZ	3,59	0,04		b	c		
Arioso F1	3,58	0,05		b	c		
Paraíso	3,58	0,05		b	c		
Dreamliner	3,49	0,07		b	c		
Primavera	3,46	0,08			c		
Modan RZ	3,40	0,08			c		
Roxinante	3,38	0,06			c		
22-20-782	3,09	0,04				d	
Katrina	3,04	0,04				d	e
22-20-783	2,97	0,04					e
Media general	3,47	0,07					

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 32 presenta los datos del promedio de frutos cosechados por genotipo para la época lluviosa.

Cuadro 32. Número de frutos de pepino cosechados según genotipo en la época lluviosa.

Genotipo	Número total frutos/planta	Error estándar	
Tipo mini			
22-20-781	83,07	4,12	a
Larino	98,63	4,12	b
Tipo americano			
Primavera	26,31	1,33	a
Corinto	29,77	1,33	ab
Macario	30,57	1,33	b
Paraíso	30,97	1,33	b
Modan	31,60	1,33	b
22-20-782	43,91	1,33	c
Katrina	49,41	1,33	d
Tipo holandés			
Arioso	16,60	0,36	a
Paisaje	24,41	0,36	b
Cumlaude	24,84	0,42	b
Kalunga	26,92	0,42	c

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 33 presenta los datos del peso promedio de frutos de pepino cosechados para la época lluviosa según los diferentes genotipos.

Cuadro 33. Peso promedio de frutos de pepino cosechados según genotipo en la época lluviosa.

Genotipo	Peso promedio total del fruto (g)	Error estándar	
Tipo mini			
22-20-781	137,37	1,50	a
Larino	140,38	1,50	a
Tipo americano			
Katrina	215,41	1,19	a
22-20-782	242,21	1,19	b
Modan	254,52	1,19	c
Corinto	258,50	1,19	d
Paraíso	259,12	1,19	d
Primavera	259,60	1,19	d
Macario	269,89	1,19	e
Tipo holandés			
Kalunga	470,17	3,84	a
Arioso	478,00	3,33	a
Paisaje	493,66	3,33	b
Cumlaude	517,77	3,84	c

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 34 presenta los datos de rendimiento de frutos de pepino cosechados para la época lluviosa según los diferentes genotipos.

Cuadro 34. Rendimiento total de pepinos cosechados según genotipo en la época lluviosa.

Genotipo	Rendimiento total (ton/ha)	Error estándar	
Tipo mini			
22-20-781	305,0	15,6	a
Larino	365,8	15,6	b
Tipo americano			
Primavera	181,1	8,9	a
Corinto	200,5	8,9	ab
Paraíso	211,2	8,9	b
Modan	211,3	8,9	b
Macario	215,6	8,9	b
22-20-782	276,9	8,9	c
Katrina	284,1	8,9	c
Tipo holandés			
Arioso	204,9	5,0	a
Paisaje	312,6	5,0	b
Kalunga	327,5	5,7	bc
Cumlaude	334,6	5,7	c

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 35 presenta los datos del Porcentaje de sólidos solubles totales de pepinos cosechados según genotipo en la época lluviosa.

Cuadro 35. Porcentaje de sólidos solubles totales de pepinos cosechados según genotipo en la época lluviosa

Genotipo	Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)	Error estándar	
Tipo mini			
Larino	3,00	0,02	a
22-20-781	3,10	0,02	a
Tipo americano			
Modan	2,89	0,02	a
22-20-782	2,91	0,02	a
Primavera	2,98	0,02	b
Katrina	3,00	0,02	b
Corinto	3,06	0,02	b
Macario	3,17	0,02	c
Paraíso	3,22	0,02	c
Tipo holandés			
Dreamliner	3,00	0,02	a
Kalunga	3,00	0,02	a
Roxinante	3,00	0,02	a
Cumlaude	3,00	0,02	a
Paisaje	3,10	0,02	b
Arioso	3,60	0,02	c

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

El cuadro 36 presenta la interacción de la época sobre las variables de las diferentes genotipos de pepino.

Cuadro 36. Interacción época versus genotipos de pepino.

Genotipos Pepinos		Número total frutos/planta	Peso promedio total del fruto (g)	Rendimiento total (ton/ha)	Porcentaje de sólidos solubles totales (°Brix)
Época	Seca	24,06 a	370,71 b	213,28 a	3,40 b
	Lluviosa	30,54 b	338,08 a	250,91 b	3,07 a
Interacción Genotipo x Época		*	**	**	**
Genotipo	Arioso	15,81 a	471,61 e	192,53 a	3,62 f
	Modan	26,82 d	279,51 b	193,25 a	3,02 ab
	Primavera	25,31 cd	305,36 c	201,46 a	3,24 cd
	Corinto	25,96 cd	316,28 cd	205,23 a	3,25 cd
	Paraíso	26,30 d	315,62 cd	209,15 a	3,35 de
	Macario	26,67 d	324,20 d	210,31 a	3,48 e
	22-20-782	41,29 e	233,23 a	250,61 b	2,98 a
	Katrina	45,38 f	227,56 a	268,25 bc	2,98 a
	Cumlaude	21,23 b	484,95 f	270,80 c	3,22 cd
	Paisaje	22,27 b	466,71 e	271,47 c	3,33 d
	Kalunga	23,24 bc	473,32 ef	279,99 c	3,32 d
	Dreamliner	nd	nd	nd	3,14 bc
	Roxinante	nd	nd	nd	3,17 c
Modan - seca		22,04 cde	304,51 f	175,27 a	3,14 cdef
Modan - lluviosa		31,59 j	254,52 cde	211,23 cd	2,89 a
Arioso - seca		15,03 a	465,22 jk	180,27 ab	3,61 jk
Arioso - lluviosa		16,59 ab	478,00 kl	204,79 bcd	3,64 jk
Primavera - seca		24,31 efg	351,12 g	221,82 cd	3,49 hij
Primavera - lluviosa		26,31 fgh	259,61 e	181,09 ab	2,98 abcd
Corinto - seca		22,16 cde	374,06 h	209,99 bcd	3,45 hij
Corinto - lluviosa		29,77 hij	258,50 de	200,47 abc	3,06 abcde
Macario - seca		22,78 def	378,51 h	204,94 bcd	3,79 k
Macario - lluviosa		30,56 ij	269,89 e	215,69 cd	3,17 def
Paraíso - seca		21,63 cde	372,13 h	207,08 bcd	3,47 hij
Paraíso - lluviosa		30,97 ij	259,12 de	211,21 cd	3,22 efg
22-20-782 - seca		38,67 k	224,24 ab	224,35 cde	3,06 abcde

22-20-782 - lluviosa	43,90 l	242,21 cd	276,87 fg	2,91 ab
Katrina - seca	41,35 kl	239,71 bc	252,47 ef	2,95 abc
Katrina - lluviosa	49,41 m	215,41 a	284,04 g	3,00 abcd
Paisaje - seca	20,13 bcd	439,75 i	230,34 de	3,56 ij
Paisaje - lluviosa	24,41 efg	493,66 l	312,60 h	3,09 bcde
Kalunga - seca	18,90 bc	476,46 k	232,47 de	3,64 jk
Kalunga - lluviosa	27,59 ghi	470,17 k	327,50 h	3,01 abcd
Cumlaude - seca	17,63 ab	452,13 ij	207,07 bcd	3,40 ghi
Cumlaude - lluviosa	24,83 efg	517,77 m	334,53 h	3,03 abcde
Dreamliner - seca	nd	nd	nd	3,33 fgh
Dreamliner - lluviosa	nd	nd	nd	2,96 abc
Roxinante - seca	nd	nd	nd	3,33 fgh
Roxinante - lluviosa	nd	nd	nd	3,02 abcd

Nota: Letras distintas indican diferencias significativas, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

* Interacción significativa ($p \leq 0,05$)

** Interacción altamente significativa ($p \leq 0,01$)

nd: no hay dato

Entre los principales hallazgos para esta prueba de genotipos de pepino, se destaca la interacción entre los factores genotipo y época de siembra, para las cuatro variables incluidas en el análisis. A nivel general, el número total de frutos/planta y el rendimiento total presentan valores mayores en la época lluviosa, mientras que el peso promedio del fruto y el porcentaje de sólidos solubles totales presentan valores mayores en la época seca.

Sin embargo, debido a la interacción entre los factores, la respuesta depende de cada caso específico. Por ejemplo, el genotipo Primavera presentó un mayor rendimiento total en la época seca en comparación con la época lluviosa, y esta diferencia fue estadísticamente significativa; también el genotipo Corinto mostró un mayor rendimiento total en la época seca, pero en este caso las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Por otra parte, los genotipos 22-20-782, Paisaje y Cumlaude presentaron un mayor peso promedio del fruto en la época lluviosa en comparación a la época seca, y todas estas diferencias fueron estadísticamente significativas. Además, en los genotipos Arioso, 22-20-782 y Katrina, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el porcentaje de sólidos solubles totales entre ambas épocas de siembra. En el genotipo Arioso, no hubo diferencias significativas entre ambas épocas de siembra para las variables número total

de frutos por planta ni rendimiento total; esto mismo sucedió en el genotipo Primavera para el número total de frutos por planta. Asimismo, no hubo diferencias estadísticamente significativas para el rendimiento total entre ambas épocas de siembra para los genotipos Macario y Paraíso.

Otro detalle importante es que, en el caso de los genotipos Paisaje, Kalunga y Cumlaude (que fueron los que obtuvieron los mayores rendimientos totales en la época lluviosa), el aumento del rendimiento total en la época lluviosa con respecto a la época seca es muy amplio (con aumentos de rendimiento de un 35,7 % 40,9 % 61,6 %, respectivamente). Estos genotipos corresponden a la tipología de pepino “holandés”. Por lo tanto, los resultados sugieren que estos genotipos de pepino son más susceptibles al estrés por las altas temperaturas y la baja humedad relativa que se presentó en la época seca, en comparación a los otros genotipos.

El genotipo que obtuvo el mayor rendimiento total en la época seca fue Katrina, por lo que se sugiere que este es el genotipo que presenta la mayor tolerancia a las altas temperaturas y la baja humedad relativa, por lo que puede ser una fuente importante de genes de tolerancia al calor en esta especie hortícola. Sin embargo, se recomienda también considerar a los genotipos Primavera, Corinto, Roxinante y Larino en futuras investigaciones como posibles fuentes de genes de tolerancia al calor.

8.2.2. Meta 2: Evaluar genes o marcadores de tolerancia al calor en los genotipos de mejor respuesta en cuanto rendimiento y calidad.

Se evaluaron 15 genotipos de *Solanum lycopersicum* var. cerasiforme con 19 primers de marcadores moleculares tipo RAPDs (Random Amplified Polymorphic DNAs) (Lin et al. 2006; Kamel et al. 2010) y 14 sets de primers vinculados a genes específicos (Ginzberg et al. 2009; Matsumoto et al. 2014) los cuales habían sido reportados por su asociación a condiciones ambientales adversas como estrés por calor. Las muestras se clasificaron de forma preliminar en función del rendimiento como: Totalmente Tolerantes (T4 y T5), Altamente Tolerantes (T2, T8, T14, T15, T16 y T18), con Tolerancia Intermedia (T7, T9, T10, T19, T21 y T22) o Susceptibles (T1).

El análisis de RAPDs y genes específicos no reveló diferencias genéticas entre los materiales (Figura 13), debido a que en el caso de los RAPDs únicamente se observaron polimorfismos aislados entre las muestras y los perfiles de amplificación fueron en su mayoría homogéneos tanto para los RAPDs como para los genes específicos.

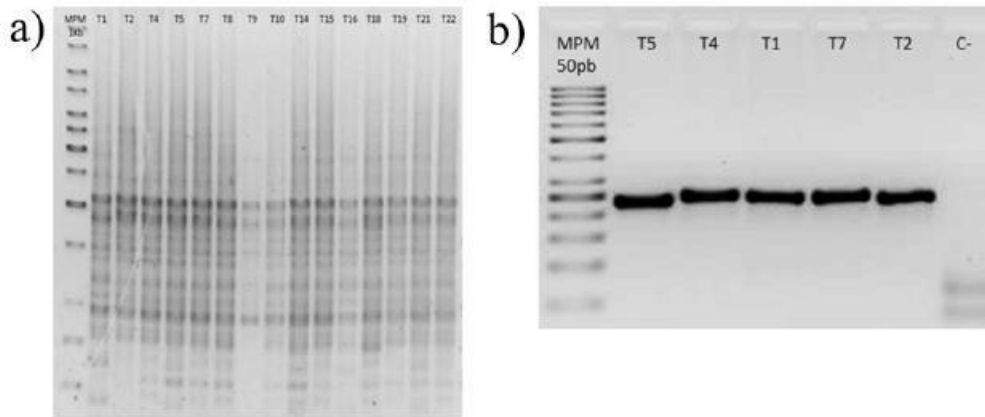


Figura 13. a) Gel de agarosa al 0.8% TBE 1X de los productos de la PCR-RAPD amplificados con el cebador X01 y b) Gel de agarosa al 3% TBE 1X de los productos de PCR amplificados con el cebador Rcd1 de 250 pb en muestras de origen comercial de *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*.

Además se implementó la técnica de HRM (High Resolution Melting) mediante la cual se detectaron variantes, las cuales al ser analizadas de forma conjunta permitieron distinguir el genotipo clasificado como Susceptible (S) de las demás muestras, así como agrupar los genotipos que registraban el mayor rendimiento clasificados como Totalmente Tolerantes (TT) (Figura 14).

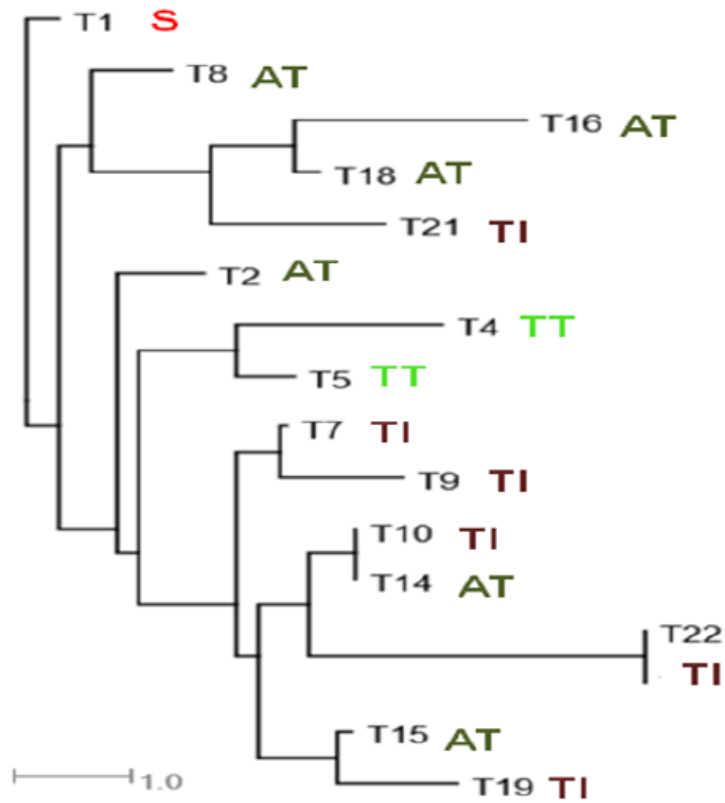


Figura 14. Árbol generado mediante el método de Distancia Neighbour-Joining según las variantes registradas para los siete cebadores utilizados mediante la técnica de HRM, con las muestras de origen comercial.

Algunas de las muestras vinculadas a las variantes reportadas mediante HRM se secuenciaron. El análisis de las secuencias reveló diferencias entre las muestras, como la presencia de SNPs e inserciones (Figura 15).

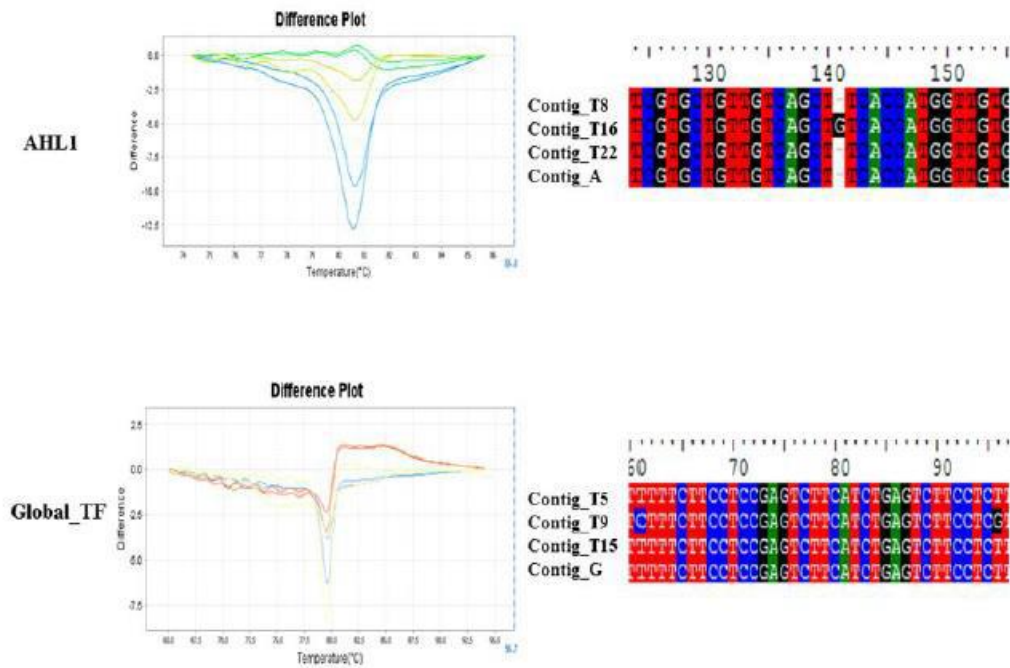


Figura 15. Curvas de Fusión de Alta Resolución y secuencias alineadas en el programa BioEdit para las variantes de los cebadores AHL1 y Global_TF con las muestras de *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*. AHL1: Mostaza T8 Tm: 80,5°C y 80,6°C (AT), Verde T16 Tm: 80,7°C (AT) y Celeste T22 Tm: 80,4°C y 80,3°C (TI). Global_TF: Amarillo T5 Tm: 70,3°C y 79,6°C (TT), Rojo T9 Tm: 79,5°C (TI) y Celeste T15 Tm: 79,6°C y 79,4 °C (AT).

El poder diferenciar mediante estas técnicas los genotipos en función a su rendimiento, refuerza la aplicabilidad de las herramientas moleculares a nivel agrícola y el potencial de utilizar procesos como la Selección Asistida por Marcadores en el mejoramiento de los cultivos.

Además se debe considerar que las alteraciones a nivel de la secuencia de ADN pueden repercutir en los procesos de transcripción y traducción (Wang et al. 2012). En el caso de las regiones evaluadas, los cebadores están asociados a genes que desempeñan diversas funciones en la respuesta de las plantas ante el estrés por calor u otras condiciones ambientales adversas, de modo que el análisis de estas regiones es de especial interés al considerar el contexto de cambio climático.

8.3. Objetivo específico 3: Divulgar y transferir los conocimientos generados a la comunidad nacional e internacional.

8.3.1. Meta 1: Capacitar a productores y técnicos.

Se realizó un día de campo en la Finca Experimental Santa Lucia de la Universidad Nacional con la asistencia de productores de pepino y chile de la zona de Heredia y sus alrededores, todos pertenecientes a la empresa Tierra Tica, empresa dedicada a la producción y comercialización de hortaliza. Esto se detalla en el punto 5 del informe final.

8.3.2. Meta 2: Publicaciones en revista indexadas.

Se presentaron en julio de 2016 tres artículos científicos, los cuales ya están aprobados para publicación, los mismo se detallan en la parte 6 del informe final.

Se está trabajando en 8 artículos para su publicación y se espera que en el 2017 se logren sus publicaciones, esto también se detalla en el punto 6 del informe final.

8.3.3. Meta 3: Incorporación de estudiantes de pregrado.

En el punto 3 del informe final se adjuntó una lista de estudiantes participantes en el proyecto por institución y con el detalle de sus funciones durante la ejecución del proyecto.

9. BIBLIOGRAFÍA

Baquadano, F., & Castillo, F. (2006). Comparative ecophysiological effects of drought on seedlings of the Mediterranean watersaver *Pinus halepensis* and water-spenders *Quercus coccifera* and *Quercus ilex*. *Trees - Structure and Function*, 20, 689 - 700.

Demmig-Adams, B., & Adams III, W. (1992). Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*, 43, 599 - 626.

- Ginzberg, I., Barel, G., Ophir, R., Tzin, E., Tanami, Z., & Muddarangappa, T. (2009). Transcriptomic profiling of heat-stress response in potato periderm. *Journal of Experimental Botany*, 11.
- Jaímez , R., Rada, F., & García-Núñez, C. (1999). The effect of irrigation frequency on water and carbon relations in three cultivars of sweet pepper (*Capsicum chinense*Jacq), in a tropical semiarid region. *Scientia Horticulturae*, 81(3), 301 - 308.
- Kamel, M., Soliman, S., Mandour, A., & Mahassen, S. (2010). Genetic Evaluation and Molecular Markers for Heat Tolerance in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of American Science*, 6(12), 364 - 374.
- Lin, K., Lo, H., Lee, S., Kuo, C., Chen, J., & Yeh, W. (2006). RAPD markers for the identification of yield traits in tomatoes under heat stress via bulked segregant analysis. *Hereditas*, 143(1), 142 - 154.
- Matsumoto, T., Morishige, H., Tanaka, T., Kanamori, H., Komatsuda, T., Sato, K., . . . Shingo, H. (2014). Transcriptome analysis of barley identifies heat shock and HD-Zip I transcription factors up-regulated in response to multiple abiotic stresses. *Mol Breeding*, 34, 761 - 768.
- Stepién, P., & Klbus, G. (2006). Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. *Biologia Plantarum*, 50(4), 610.
- Tambussi, E., & Graciano, C. (2010). La fluorescencia modulada de la clorofila: método del pulso saturante. En M. Fernández , & J. Gyenge, *Técnicas de medición en ecofisiología vegetal* (págs. 978 - 987). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA.
- Wang, K., Schmied, W., & Chin, J. (2012). Reprogramming the Genetic Code: From Triplet to Quadruplet Codes. *Angew. Chem. Int. Es*, 51, 2288 - 2297.

10.ANEXOS

Anexo 10.1. Día de campo. Ambientes protegidos y producción de hortalizas. Finca experimental Santa Lucia, Heredia.

DIA DE CAMPO
“Ambientes protegidos y producción de hortalizas”

PROYECTO: “Efecto del cambio climático en la producción de hortalizas en Costa Rica”

FECHA: 03 de mayo, 2016

LUGAR: Finca Experimental Santa Lucia, Heredia.

LISTA DE PARTICIPANTES

NOMBRE	LOCALIDAD	TELEFONO	FIRMA
Jose Eladio Monge Pérez.	Santiago VCR	8819-3526	<i>Jose Eladio Monge Pérez</i>
Roberto Londero S.	UNA/Heredia	83418759	<i>Roberto Londero S.</i>
Felix Arquellé Delgado	UNA ECA	88183361	<i>Felix Arquellé Delgado</i>
Jose Mario Núñez A.	UNA ECA	88624488	<i>Jose Mario Núñez A.</i>
Diego Amayo Amayo	SANTA BARBARA	62-40-64. 90	<i>Diego Amayo Amayo</i>
Xenia m. Albray Gamba	Santa Barbara	87 12 8901	<i>Xenia m. Albray Gamba</i>



DIA DE CAMPO
“Ambientes protegidos y producción de hortalizas”

PROYECTO: “Efecto del cambio climático en la producción de hortalizas en Costa Rica”

FECHA: 03 de mayo, 2016

LUGAR: Finca Experimental Santa Lucia, Heredia.

LISTA DE PARTICIPANTES

NOMBRE	LOCALIDAD	TELEFONO	FIRMA
Jesús Mora Jara	UNA	88073557	Jesús Mora Jara
Werner Salazar Salazar	UCR	83354050	Werner Salazar
Gerardo Herrera Villalobos	ITRAGRO	63249850	Gerardo Herrera
Maxton Villegas Mora	C.A.CSIB	83101629	Maxton Villegas
William Salazar Soto	C.A.CSIB	22697013	William Salazar
Adrian Bolaños F	TIRAGRO	83591459	Adrian Bolaños
Fabian Sara Viquez	UNA	84253567	Fabian Sara Viquez
Maria Yael Camacho	UNA	83203852	Maria Yael Camacho
Arcys Carrasquilla Bostita	ITCR	25509184 88335363	Arcys Carrasquilla



Anexo 10.2. Boletín: Polimorfismos de nucleótido simple en *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* relacionados con características relevantes al cambio climático revelados por alta resolución de fusión.

Polimorfismos de nucleótido simple (SNP) en *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* relacionados con características relevantes al cambio climático revelados por alta resolución de fusión

Blanco-Vargas, M.¹; Monge-Pérez, J.E.², Argüello, F.³ & R. Molina-Bravo*³

¹Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Costa Rica (UNA)

²Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica (UCR)

³Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Costa Rica (UNA)

Autor de correspondencia: *ramón.molina.bravo@una.cr

Introducción

El cambio climático supone un reto a la agricultura. Debido a que este sector soporta la provisión de alimentos y otros productos a nivel mundial, las variaciones en el clima amenazan esta provisión. La alteración de variables como los niveles de dióxido de carbono, agua y temperatura, conducen a la necesidad de encontrar y seleccionar variedades con características de adaptación a las condiciones ecológicas proyectadas (Garriz & Bilder, 2014).

El uso de herramientas moleculares puede contribuir ampliamente a la selección de material para mejoramiento, mediante la identificación de marcadores moleculares asociados al estrés abiótico. Por ejemplo, se han reportado investigaciones que buscan identificar genes asociados a tolerancia al estrés hídrico en caña de azúcar (Riascos-Arcos *et al.*, 2015), y marcadores moleculares asociados al estrés térmico (Guo *et al.*, 2015). Estos y otros estudios están construyendo herramientas para desarrollar nuevo material genético adaptado a nuevas condiciones climáticas.

Uno de los sistemas de marcadores más avanzados para caracterizar y distinguir genotipos, es la alta resolución de fusión o HRM por sus siglas en inglés (High-Resolution Melting), la cual cobra especial importancia para la detección de polimorfismos de nucleótido simple (SNP), es decir, diferencias de un solo nucleótido. El análisis HRM es un método post-PCR que se basa en el análisis de curvas de desnaturalización de fragmentos de ADN mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) en tiempo real que monitorea la fluorescencia emitida por un agente intercalante de ADN. El método se

fundamenta en registrar los niveles de fluorescencia durante la elevación de la temperatura de las muestras; la doble hebra de ADN emite altos niveles de fluorescencia a bajas temperaturas y conforme la temperatura aumenta, la fluorescencia disminuye hasta decaer de forma abrupta hasta alcanzar la temperatura de fusión (T_m). El valor de T_m depende de la secuencia de la muestra (Quintana *et al.*, 2014).

La técnica de HRM es capaz de distinguir transiciones, transversiones y de identificar variaciones cerca o en mutaciones puntuales de interés, de una forma rápida y a bajo costo comparada con la secuenciación (Bruzzone & Steer, 2015). Además, permite el genotipado de especies con recursos limitados a nivel genético, y ha sido utilizada para este fin en diferentes especies de plantas como *Malus domestica*, *Prunus dulcis*, *Solanum tuberosum*, entre otros (Han *et al.*, 2012).

La presente investigación tiene como objetivo presentar la técnica de HRM así como la detección de SNPs en genes asociados a la tolerancia al calor en *Solanum* como una herramienta de alto potencial para la identificación y selección de variedades agrícolas con condiciones importantes para la adaptación al cambio climático.

Materiales y Métodos

Se recolectaron hojas tiernas de 15 genotipos comerciales de tomate *cherry* (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) en el invernadero de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, en la Garita de Alajuela. Los genotipos fueron clasificados en cuatro categorías: totalmente tolerantes (T4 y T5), altamente tolerantes (T2, T8, T14, T15, T16 y T18), con tolerancia intermedia (T7, T9, T10, T19, T21 y T22) y susceptible (T1). Todas las categorías, con la excepción de susceptible, fueron definidas por el comportamiento de los genotipos observado en evaluaciones de componentes de rendimiento y de calidad del fruto realizadas en el mismo sitio. Se consideró susceptible cuando el rendimiento por planta es inferior a 0,5 Kg, como definieron Kamel *et al.*, (2010).

El material se procesó en el Laboratorio de Biología Molecular de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional. El ADN genómico se extrajo mediante el método modificado propuesto por Doyle & Doyle (1990). Se visualizó el ADN por medio de electroforesis en geles de agarosa al 1% y se determinó la concentración del ADN de las muestras por medio de un Nanodrop (Thermo Scientific) del Laboratorio de Análisis Genómico de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, y también mediante análisis de intensidad de fluorescencia en el gel de agarosa utilizando el programa ImageJ.

Se amplificaron siete fragmentos de ADN de genes relacionados con la tolerancia al calor, por ejemplo, genes de proteínas de choque térmico en plantas, por medio de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) tiempo final (Ginzberg *et al.*, 2009; Matsumoto *et al.*, 2014). Los siete genes seleccionados fueron HvActin, AHL1, Global_TF, Bhlh/myc, Z_finger, Rcd1 y Nac. Los productos de PCR de los genes específicos se ejecutaron siguiendo la metodología propuesta por los autores y fueron visualizados en geles de agarosa al 3% en TBE1X.

La técnica de HRM se llevó a cabo en un termociclador en tiempo real StepOne (Applied Biosystems) y se siguió el protocolo propuesto por los fabricantes. Para cada reacción, se utilizaron 5 μ l de mezcla maestra comercial MeltDoctor™ e imprimadores a 0,5 μ M en un volumen final de 10 μ l. Las reacciones se ejecutaron bajo el siguiente perfil térmico: una primera etapa a 95°C por 10 min, 15 s a 95°C, seguido por 1 min a 50°C; una segunda etapa de 40 ciclos a 95°C por 10 s, y 50 ó 55°C por 1 min; una etapa final de captura de datos HRM a 0.3% hasta 95°C por 15 s y finalizando con 15 s a 50°C.

Resultados

No se observaron diferencias en los tamaños de los fragmentos de los genes. Sin embargo, al procesarlas mediante la técnica de HRM se registraron variaciones para todos los genes evaluados, es decir de las siete regiones amplificadas, todas presentaron al menos tres variantes (Fig.1).

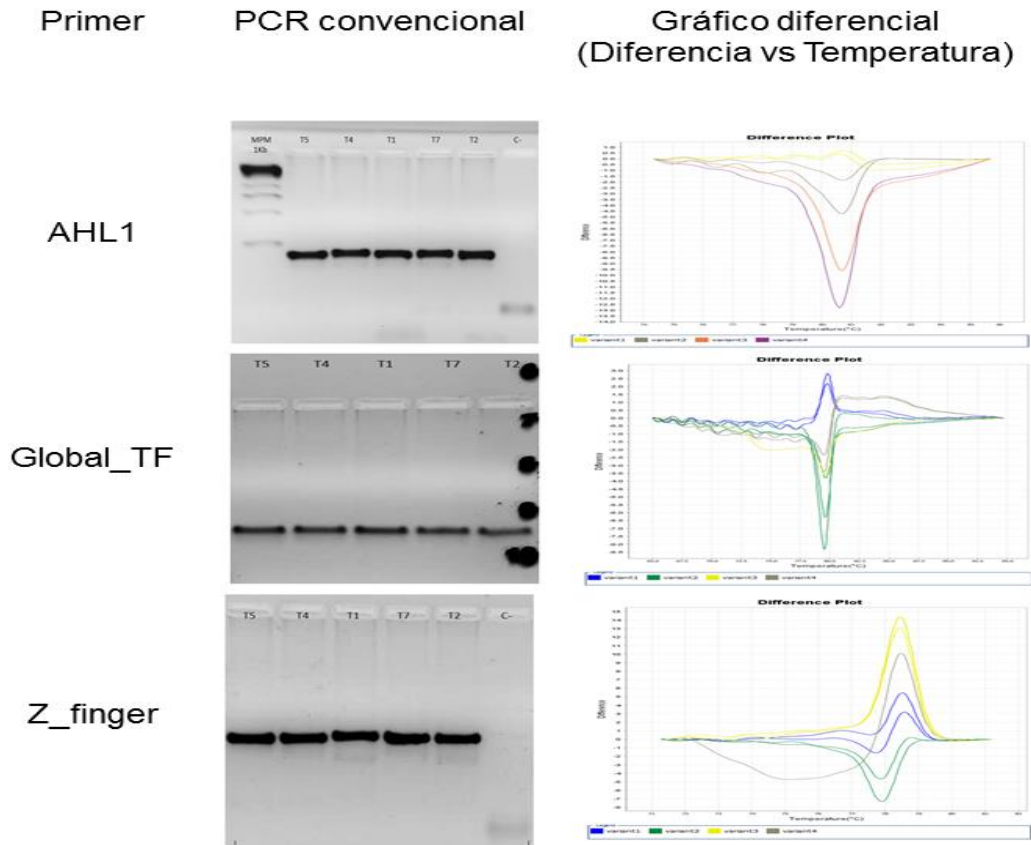


Fig.1. Las imágenes de la izquierda representan los fragmentos amplificados por PCR convencional de las regiones AHL1, Global_TF y Z_finger para las muestras T1, T2, T4, T5 y T7, visualizados en un gel de agarosa al 3% en TBE 1X, el tamaño de los fragmentos es de aproximadamente 200 pb para AHL1 y Global_TF, y de 300 pb para Z_finger. Las figuras de la derecha representan las curvas de HRM de diferentes muestras en función del aumento de la temperatura, los colores simbolizan las variantes para las regiones AHL1, Global_TF y Z_finger de las diferentes muestras amplificadas por duplicado.

La cantidad de variantes de las curvas fue diferente para cada fragmento. En el caso de HvActin, se observaron tres variantes consistentes en las muestras T7, T16 y T22, Bhlh/MYC tres variantes (T9, T10 y T18), Rcd1 seis variantes (T9, T14 y T16) y Nac tres variantes (T9, T10 y T14). Para los regiones de AHL1, Global_TF y Z_finger, se presentaron cuatro variantes representadas por los diferentes colores de las curvas de HRM y los valores de Tm (Fig. 1). Con AHL1 se observaron diferencias entre las muestras (T8 gris 80,5 y 80,6°C, T16 amarillo 80,7°C y T22 rosado y morado 80,4 y 80,3°C), Global_TF (T5 verde y amarillo 79,3 y 79,6°C, T9 gris 79,5°C, T15 verde 79,6 y 79,4°C y T18 azul 79,7°C) y Z_finger (T14 verde 78,0 y 77,9°C, T16 amarillo 78,5 y 78,4°C, T18 amarillo y gris 78,5 y 78,4°C y T21 azul 78,1°C).

Con esta técnica se pudo diferenciar una muestra clasificada preliminarmente como Totalmente Tolerante (T5), de cinco con Alta Tolerancia

(T8, T14, T15, T16 y T18) y de otras cinco con Tolerancia Intermedia (T7, T9, T10, T21 y T22). Además, de cada región evaluada fue posible discriminar genotipos previamente agrupados dentro de una misma categoría, pero que a nivel de amplificaciones y secuencias específicas presentan diferencias entre sí.

Discusión

No fue posible identificar diferencias por medio de marcadores moleculares tipo RAPDs (datos no publicados) ni por amplificación de genes específicos por PCR convencional. Las diferencias encontradas mediante la técnica de HRM demostraron diferencias puntuales en los genes, lo que implica posibles variaciones en el fenotipo para tolerancias abióticas. Por ejemplo, las secuencias de AHL1, Global_TF y Z-finger forman parte de factores de transcripción relacionados con la respuesta al estrés por calor, los cuales han sido evaluados según sus niveles de expresión en *Solanum tuberosum* (Ginzberg *et al.*, 2009). Los factores de transcripción son proteínas que se unen específicamente a secuencias cortas de ADN conocidas como elementos *cis* que se ubican en los promotores de los genes, a partir de esta interacción son capaces de inhibir o inducir la actividad de la enzima ARN polimerasa II (García-Morales *et al.*, 2013). De esta forma la regulación transcripcional desempeña un papel importante en las plantas. En estos organismos, del 6% al 10% de los genes codifican factores de transcripción que regulan la expresión génica (Franco-Zorrilla *et al.*, 2014).

La familia de genes AHL se han encontrado en todas las especies de plantas que han sido secuenciadas hasta el momento. Al ser genes altamente conservados es considerada una familia de genes importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Algunos aspectos vinculados a estos genes son crecimiento de hojas, tallos, y raíces; formación de flores; respuestas hormonales y fisiológicas como la homeostasis, entre otros (Zhao *et al.*, 2013).

El Z-finger constituye uno de los dominios proteicos más conocidos en los eucariotas superiores. Estos dominios cuentan con secuencias específicas para la unión del ADN. Además, nuevos estudios revelan que los dominios de Z-finger también pueden actuar como sitios de unión al ARN para mayor intervención en procesos de regulación durante y después de la transcripción (Burdach *et al.*, 2012). Esto les otorga un carácter multifuncional.

Por su parte los factores de transcripción de tipo Global (Global_TF) presentan un amplio alcance y son responsables de controlar un gran porcentaje de los procesos de regulación. De esta forma pueden distinguirse de los factores de transcripción de tipo local basándose en la cantidad de genes que regulan, debido a que modulan la actividad de un amplio número de promotores (Smolke, 2010). Otras características asociadas a este tipo de factores de transcripción

son la capacidad para regular genes de diferentes categorías o grupos funcionales y su potencial para responder a un amplio rango de condiciones ambientales. Su actividad puede estar asociada a señales específicas o interacciones proteicas, entre otros factores (Hughes, 2011).

El análisis de las secuencias asociadas a las variantes identificadas mediante HRM revela que, al compararlo contra otras secuencias con un alto porcentaje de identidad, estas zonas se asocian con sitios de importancia para la expresión génica y la conformación de estructuras proteicas en *Solanum lycopersicum*. Por ejemplo, según García-Morales *et al.* (2013), la secuencia de Global_TF codifica para la formación del complejo de la subunidad SPT16, el Bhlh/myc forma parte del factor de transcripción Bhlh128, el Z-finger codifica una región que es característica en la familia B-Box dentro del subgrupo de proteínas Zn finger la cual genera estructuras terciarias estabilizadas por la unión con iones de Zn. Por su parte, Rcd1 codifica una proteína que interviene en los procesos de diferenciación celular. AHL1 forma parte de la secuencia para la síntesis de Lisozima, por otra parte la HvActin participa en la formación de microtúbulos para la proteína 70 en *Solanum lycopersicum*. Mientras que los factores de transcripción de tipo Nac intervienen ante diversos tipos de estrés abiótico, debido a que actúan como activadores o represores de promotores específicos regulando los procesos de transcripción (García-Morales *et al.*, 2013).

La funcionalidad de dichas regiones y su intervención dentro de los procesos de expresión génica, sugieren que alteraciones en las secuencias que los codifican pueden representar cambios en los procesos de activación génica e inclusive alteraciones a nivel estructural y funcional de las proteínas pudiendo afectar procesos fundamentales como el crecimiento y desarrollo de las plantas, o su capacidad para responder a estímulos ambientales.

Finalmente, la utilización de diferentes herramientas moleculares como la técnica de HRM aunadas a las estrategias tradicionales de selección representa un método eficiente para diferentes procesos de selección que contribuyan con la adaptación al cambio climático, así como a la búsqueda de nuevas y más sostenibles formas de producción agrícola.

Agradecimientos

Agradecemos a los coordinadores del proyecto “Efecto del Cambio Climático en la Producción de Hortalizas en Costa Rica” de los fondos FEES que contribuyeron para la realización de esta investigación, así como al Laboratorio de Biología Molecular de la Escuela de Ciencias Agrarias y al Laboratorio de Análisis Genómico de la Escuela de Ciencias Biológicas, y a los investigadores Irena Hilje y Rodolfo Umaña por su colaboración y apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Bibliografía

- Burdach, J., O'Connell, M.R., Mackay, J.P. & Crossley, M. (2012). Two-Timing Zinc Finger Transcription Factors Liaising with RNA. *Trends in biochemical sciences*, 37(5): 199-205.
- Bruzzone, C.M. & Steer, C.J. (2015). High-Resolution Melting Analysis of Single Nucleotide Polymorphisms. *Methods in Molecular Biology*, 1310: 5-27.
- Doyle, J.J. & Doyle, J.L. (1990). Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 12:13-15.
- Franco-Zorrilla, J.M., López-Vidriero, I., Carrasco, J.L., Godoy, M., Vera, P. & Solano, R. (2014). DNA-binding specificities of plant transcription factors and their potential to define target genes. *PNAS PLUS*, 111(6): 2367-2372.
- García-Morales, S., Gómez-Merico, F.C., Trejo-Téllez, L.I. & Herrera-Cabrera, E.B. (2013). Factores de Transcripción involucrados en Respuestas Moleculares de las Plantas al Estrés Osmótico. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 36(2): 102-115.
- Garriz, P.I. & Bilder, I. (2014). Cambio Climático y agricultura. *Boletín Geográfico*, 30: 101-102.
- Ginzberg, I., Barel, G., Ophir, R., Tzin, E., Tanami, Z., Muddaeangappa, T., de Jong, W. & Fogelman, E. (2009). Transcriptomic profiling of heat-stress response in potato periderm. *Journal of Experimental Botany*, pp. 11.
- Guo, M., Lu, J.P., Zhai, Y.F., Chai, W.G., Gong, Z.H. & Lu M.H. (2015). Genome-wide analysis, expression profile of heat shock factor gene family (CaHsfs) and characterisation of CaHsfA2 in pepper (*Capsicum annuum* L.). *BMC Plant Biology*, 15: 1-20.
- Han, Y., Khu, D.M. & Monteros, M.J. (2012). High-resolution melting analysis for SNP genotyping and mapping in tetraploid alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Molecular Breeding*, 29: 489-501.
- Hughes, T.R. (2011). A Handbook of Transcription Factors. *Subcellular Biochemistry 52 (Springer)*, Pp. 310,
- Kamel, M.A., Soliman, S.S., Mandour, A.E., & Mahassen, S.S. (2010). Genetic Evaluation and Molecular MArkers for Heat Tolerance in Tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Journal of American Science*, 6(12): 364-374.
- Matsumoto, T., Morishige, H., Tanaka, T., Kanamori, H., Komatsuda, T., Sato, K., Itoh, T., Wu, J. & Shingo, H. (2014). Transcriptome analysis of barley identifies heat shock and HD-Zip I transcription factors up-regulated in response to multiple abiotic stresses. *Mol Breeding*, 34, 761-768.
- Quintana, S., Schoenfeld, E., Di Gerónimo, V., Martín, N. & Pagani, F. (2014). Detección de la mutación V617F del gen *JAK2* mediante análisis de disociación de alta resolución. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 48(4): 447-455.
- Riascos-Arcos, J.J., Espitia-Navarro, F. & López-Gerena, J. (2015). Evaluación de las herramientas de secuenciación masiva (NGS) para identificar genes asociados con tolerancia al estrés hídrico en caña de azúcar. *Acta Agronómica*, 64(4): 355-362.

Smolke, C.D. (2010). *The Metabolic Pathway Engineering Handbook (Fundamentals)*. CRC Press (Taylor and Francis Group), Pp. 678.

Zhao, J., Favero, D.S., Peng, H. & Neff, M.M. (2013). *Arabidopsis thaliana* AHL family modulates hypocotyl growth redundantly by interacting with each other via the PPC/DUF296 domain. *PNAS PLUS*, 110(48): 4688-4697.

Anexo 10.3. Respuesta morfo-fisiológica y productiva en Tomate Cherry JMX1076 (*Solanum pimpinellifolium*) con ferti-riego bajo invernadero, en la Finca Santa Lucia, Heredia.

Respuesta morfo-fisiológica y productiva en Tomate Cherry JMX1076 (*Solanum pimpinellifolium*) con ferti-riego bajo invernadero, en la Finca Santa Lucia, Heredia.

Torres, Bermúdez, A. 2014.

**Práctica Profesional Supervisada. Escuela de Ciencias Agrarias,
Universidad Nacional de Costa Rica**

Resumen

El estudio se llevó a cabo en la finca Santa Lucia, la cual está ubicada en Barba de Heredia a unos 1800 msnm. El estudio consto de dos tratamientos bajo invernadero, uno a capacidad de campo (T1) y otro con 25% de agotamiento (T2) en lo que a fertirriego respecta en plantas de tomate cherry hibrido. Durante el estudio se evaluó las variables morfológicas (diámetro del tallo, número de hojas y altura de las plantas); además se evaluó las variables fisiológicas (Fotosíntesis, Transpiración, conductancia estomática y fluorescencia); y por ultimo las variables productivas (número de frutos y peso de frutos en tres cosechas).

Al final se determinó por medio de un análisis estadístico de prueba T student y Análisis de varianza (ANOVA) que ambos tratamientos no mostraron diferencias significativas y que en el caso del tratamiento T2 el agotamiento lo indujo a ciertas adaptaciones de origen fisiológico como lo sugieren algunos autores respecto al estrés hídrico.

Introducción

La problemática del cambio climático está conduciendo a generar acciones concretas para mitigar la situación, donde proteger el recurso hídrico es esencial. El balance hídrico entendido como las entradas y salidas de agua en el entorno de un sistema agrícola, son importantes para poder realizar un buen manejo del cultivo, esto debido a que la agricultura es totalmente dependiente del mismo.

En los últimos años se ha generado un gran interés por minimizar el desperdicio de agua y ser más eficientes en su uso, por lo tanto la conservación y el uso razonable del recurso hídrico son prioridad para enfrentar el cambio climático. Según un inventario global que se realizó en el año 2010, Hydrology and Earth System Sciences, la agricultura es el mayor usuario de agua dulce, usando un promedio global del 70% de todos los suministros hídricos superficiales. El uso industrial (incluye generación de energía el cual regresa aproximadamente el 95% del agua que utiliza) es de alrededor el 20% y un 10% uso doméstico. (FAO– AQUAST- 2008). Sabiendo de antemano esta situación podemos darnos cuenta de la importancia de utilizar el agua de manera razonable en la agricultura, de ahí la importancia de sistemas de riego más eficientes.

En Costa Rica, la producción bajo ambientes protegidos se inició a finales de los 80's, principalmente orientado a flores y plantas ornamentales. En los últimos años la necesidad de producir cultivares de mayor rendimiento, y con mayor inocuidad que certifique la salud pública y cumplimiento con otras leyes de exportación de carácter fitosanitario; ha llevado a utilizar cada vez más los invernaderos como principal opción. Sumado a esta problemática esta la necesidad de ser eficientes en el uso del agua, debido a distintos fenómenos que han afectado a Costa Rica, como la sequías en lugares como Guanacaste, lo cual pone en riesgo el recurso hídrico destinado al sector agrícola.

En Costa Rica la producción de hortalizas bajo invernadero es de gran importancia a nivel nacional en lo que a seguridad alimentaria refiere, por lo tanto se han ingeniado sistemas de riego más eficientes que evalúan aspectos como la evotranspiración, la temperatura, la capacidad de campo entre otras relacionadas al riego. En el cultivo de tomate generalmente se utilizan cada vez genotipos más eficientes en uso de agua y nutrientes con el fin de maximizar la productividad y minimizar el costo. El riego por goteo es uno de los sistemas más eficientes en cuanto al uso de agua, se considera con un 90% de eficiencia, pues minimiza las pérdidas hidráulicas en el sistema, además de permitir el uso de fertirriego lo cual ahorra agua y trabajo.

El cultivo de tomate Cherry es de vital importancia en la alimentación y dieta mundial, pues es rico en nutrientes como minerales, vitaminas, antioxidantes entre otros componentes que lo hacen saludablemente atractivo como alimento funcional(Raffo et al., 2006)

Se conoce la necesidad hídrica que requiere, sin embargo existen factores que podrían influenciar en cuanto a eficiencia del uso del agua, por ejemplo la evapotranspiración

relacionada con la tasa de fotosíntesis y respiración de la planta de tomate, la cual se puede comportar distinta según el ambiente y temperatura en que se cultive o la variedad a cultivar.

El presente trabajo se justifica debido a que el tomate cherry tiene potencial tanto nutricional como económico en Costa Rica, por lo que el uso adecuado del agua en la producción de tomate cherry es vital en la actualidad para poder mitigar los efectos de déficit hídrico que atraviesa algunas zonas del país. También es importante este estudio debido al efecto del cambio climático sobre la utilización de agua en el cultivo, su morfología y fisiología. El trabajo pretende comprobar la eficiencia del uso de agua en invernadero, con el fin de determinar si se puede hacer una gestión más eficiente del recurso hídrico en Costa Rica bajo este tipo de ambiente protegido.

Objetivo general:

Analizar el efecto de dos tratamientos de ferti-riego sobre el desarrollo de variables morfo-fisiológicas y productivas del tomate cherry (JMX 1076) bajo invernadero para determinar su rendimiento y adaptabilidad.

Objetivos específicos:

1. Evaluar el efecto de los tratamientos de ferti-riego (75% y capacidad de campo) sobre el desarrollo morfo-fisiológico de la planta para determinar su adaptabilidad.
2. Determinar el efecto de los tratamientos de ferti-riego sobre la productividad del tomate Cherry para cuantificar su rendimiento.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Generalidades del Cultivo de tomate

El tomate es la hortaliza más importante en todo el mundo y la de mayor valor económico. (FAOSTAT, 2011). También el tomate aporta significantes cualidades nutricionales tales como: antioxidantes, carbohidratos, vitamina C, minerales entre otros de importancia para la dieta humana.

El tomate cherry pertenece a la familia Solanaceae, cuyo nombre científico es *Solanum pimpinellifolium*. Se considera que es originaria de Perú, donde se ha encontrado gran diversidad de genotipos. El tomate es una planta autógama, bisexual, herbácea; sus frutos son de tamaño muy pequeño, de 1 a 3 cm de diámetro, con un peso promedio de 10 g, agrupándose en ramilletes de 15 o más frutos; existen gran variedad de colores tales como amarillos, rojos, rosados y naranjas. Los frutos pueden ser tipo pera o redondo. (Jaramillo et al.2007)

Existen dos variaciones en crecimiento la planta:

Variedades Indeterminadas: la planta produce de 7 a 10 hojas y una inflorescencia, después 3 hojas y una inflorescencia, la planta sigue su desarrollo vegetativo (Blancard, 2011).

Variedades Determinadas: la planta detiene su desarrollo después de 5 inflorescencias y los brotes laterales cesan su desarrollo en la 3 inflorescencia (Blancard, 2011).

2.2 Fenología del Cultivo

El ciclo productivo del tomate cherry está dado según la variedad a utilizar, sin embargo se estima en 210 días aproximadamente. El cultivo del tomate dura unos 35 días en semillero, luego se trasplanta; posterior al trasplante en 28 a 35 días después inicia la floración; luego inicia la fructificación 55-60 después de trasplante (ddt) y finalmente cosecha a los 90 ddt. De esta manera la planta se podrá extender en su producción unos 120 días más. (Jaramillo et al.2007)

2.3 Manejo agronómico

El manejo agronómico consta básicamente de podas, deshoja, tutorado estas con el fin de beneficiar el desarrollo vegetativo del cultivar. También en manejo está el control de malezas ya sea manual o por prácticas químicas o mecánica. El control de plagas se puede llevar acabo de manera preventiva controlando insectos como: dípteras minadoras de hojas, áfidos chupadores de hojas, Trialeurodes vaporariorum (mosca blanca), trips y los de origen bacterial o fúngico. (Jaramillo et al.2007)

Densidad de siembra

La densidad de siembra es de 30 cm entre plantas y 1.2 m entre hileras, para unas 30303 plantas/ha. (Jaramillo et al.2007)

Fertilidad

Se debe tener en cuenta que el tomate es una planta exigente en nutrientes; requiere de una alta disponibilidad de N, P, K, Ca, Mg, Cu, B, Zn. Estos en caso de invernadero se suministran por fertirriego,(Jaramillo et al.2007).

Es importante la oportuna y adecuada administración de los nutrientes en el ciclo del tomate según los picos o curvas de absorción, administrando soluciones vía fertirriego en invernadero, pues una planta mal nutrida tiene un pobre desarrollo vegetativo que repercute en bajos rendimientos. Quesada et al. (2009).

2.4 Relaciones hídricas

Riego

La planta de tomate utiliza aproximadamente 1 a 1.5 litros de agua/planta; sin embargo esta estimación debe ser evaluada según clima, sustrato y etapa fisiológica de la planta. La planta tiene sus mayores necesidades hídricas en floración y fructificación. (Jaramillo et al.2007). Gradualmente el cambio climático ha afectado el balance en recursos hídricos, los cuales son vitales para la producción de tomate, especialmente bajo invernadero (Toor et al., 2006). Ciertamente se sabe que el déficit de agua disminuye la producción de tomate, sin embargo mejora la calidad del fruto en cuanto a color y concentración de nutrientes (Favati et al., 2009). Por lo tanto según Favati et al., 2009 hacer un uso eficiente en el agua de riego reduce el costo de producción y mejora la calidad del fruto a cosechar.

Riego por Goteo

El riego por goteo es una de la principales opciones en cuanto a eficiencia de uso de agua en la agricultura, pues libera el agua directamente en el área radicular de la planta disminuyendo pérdidas o desperdicio en el sistema (Burney et al., 2010).

Según un estudio realizado por (Génova, 2013) los riegos localizados por goteo son una tecnología de gran valor, pues aumentan el uso eficiente del agua en el sistema, sin embargo existen dos formas de realizarlo; el superficial y el subterráneo. El subterráneo es mucho más eficiente en cuanto al uso y distribución del agua en el sector radicular, ya que se ha evidenciado como las plantas a mayor profundidad de riego aprovechan más el agua y los nutrimentos en el caso de fertirriego; mientras que el superficial tiene pérdidas por evaporación, este estudio sugiere que la profundidad de goteo es aún más importante que la cantidad de agua suministrada para obtener buenos rendimientos en tomate.

Evapotranspiración (ET), es definida como la transpiración del suelo más la transpiración de la planta; Además el ET está sujeto por algunos parámetros como: la radiación solar, Temperatura, humedad relativa, velocidad del viento entre otras. (Davis et al., 2009).

Es importante calcular la evapotranspiración de la planta de tomate; esta generalmente se deriva del balance hídrico (relación entre entradas y salidas de agua) o calculado con el Kc específico del cultivo y las condiciones específicas en el ambiente; estos datos del ambiente son convertidos a lo que se conoce como evapotranspiración potencial diaria (ET₀); la cual se multiplica por el coeficiente del cultivo (Kc específico) dando como resultado la evapotranspiración. Estos cálculos son hechos en base a supuestos de riego por aspersión, los cuales tienen mayores pérdidas por evaporación y no aplicables en su totalidad al riego por goteo (Davis et al., 2009).

También Según (Hao, 2013) se ha demostrado como el riego por goteo disminuye la evapotranspiración y aumenta la concentración de sólidos en los frutos, por tanto la eficiencia y calidad de los frutos es mayor que en otros sistemas. Es importante mencionar que la frecuencia de riegos no tiene un efecto tan notorio en la producción, contrario a la cantidad de riego aplicado la cual si tiene un efecto muy marcado en el tamaño de los frutos, esto siempre

y cuando exista la misma frecuencia en los tiempos de riego, lo importante está en la cantidad de agua suministrada (Hao, 2013). También se ha demostrado que cantidades de riego muy bajas o muy altas puede causar una reducción de frutos en la planta (Hao, 2013).

Según Hartz, (2009) algunas recomendaciones de riego por goteo para tomates son:

1. Debe ser diseñado para mantener la uniformidad de riego al menos 85% o más en el cultivo; las causas comunes de una pobre uniformidad son el excesivo largo de los laterales, la dimensión de los sub-principales y terrenos desuniformes.
2. El flujo del riego y el espacio de los emisores deben ser combinados según las condiciones del suelo. El patrón de humedecimiento está influenciado por la textura del suelo y química del agua.
3. La opción de filtro a utilizar esta dada según la calidad del agua, si el agua no es dura o contaminada entonces los costos de filtro son menores.

Determinación de requerimientos en riego por goteo

Existen dos elementos básicos a considerar en la eficiencia del uso hídrico:

1. Calcular el agua que requiere el cultivo según el clima y el estado fisiológico de la planta de tomate.
2. Medir y monitorear la humedad en el sustrato o suelo para confirmar que el cálculo de riego esta correcto y además generar guía para calendarizar el riego.

En los sistemas de riego por goteo se debe tener claro la evapotranspiración de la planta, en relación a condiciones climáticas como la radiación, temperatura y etapa de crecimiento de la planta. (Hartz . 2009)

Volumen de riego y frecuencia de riego

El volumen de riego está muy influenciado por la presión del sistema la cual debe ser la misma en cada riego para asegurar la misma salida de agua en el sistema, para asegurar que la cantidad de agua es la misma se pueden hacer medidas en la salida del gotero durante los riegos, para verificar la cantidad de agua que realmente llega a las plantas, esto debido las perdidas en presión que generan inexactitud. (Hartz. 2009)

En cuanto a la frecuencia, el tomate tiende a soportar cierto estrés hídrico o déficit de humedad sin registrar pérdidas en significativas en campo, aproximadamente de un 20 a 30% en déficit podría tolerar en el área radicular, sin embargo la meta en tomate es mantener el régimen de humedad tan constante como se pueda, por lo que a más frecuencias de riego hay más beneficio. (Hartz. 2009)

La manera más segura de garantizar la humedad del suelo es mediante medidas con tensiómetros en el sector radicular de las plantas para determinar si realmente los cálculos de riego están bien. (Hartz. 2009)

En la etapa final de la planta, momento en el cual la planta empieza a madurar los frutos, es importante reducir la cantidad de riego a aplicar en el pico de producción, esto con el fin de aumentar los sólidos solubles en los frutos y mejorar los grados brix del tomate, esta práctica tiene como objetivo aumentar la calidad de cosecha sin tener pérdidas significativas en la producción (Hartz,2009).

Capitulo III

Marco Metodológico

3.1 Aspectos de manejo agronómico

La siguiente metodología se llevó a cabo en el invernadero de la finca Santa Lucia, ubicada en Santa lucia de Heredia a unos 1800 msnm.

Los dos tratamientos fueron basados en Riego a capacidad de campo, y agotamiento al 25% como los dos regímenes de riego, también un 25% menos de fertirriego en el caso del tratamiento con agotamiento. La variedad de tomate cherry cultivado fue la JMX1076 a una densidad de 30 a 35 cm entre planta y 1.2 metros entre hileras de pacas de fibra de coco como sustrato, para un total de 80 plantas en invernadero. Además se sembró por medio de trasplante a los 35 días, y se dejó desarrollar la planta a 1 tallo o una sola guía.

El cultivo se manejó con fertirriego por goteo, inyectando las soluciones con un Dosatron® . Se realizó 12 tiempos de riego en el tratamiento a capacidad de campo y 9 riegos en el 25% de agotamiento, también ajustes según tiempo de riego. La cantidad de agua y fertilizante a utilizar estuvo en función de la etapa fenológica del cultivo y de aspectos climáticos como la temperatura, por lo que se realizaron tres formulaciones de fertilizante, cada una con soluciones A (Macronutrientes) y B (Micronutrientes).

Se realizaron prácticas de manejo de cultivo como podas y tutorado, además de control de plagas con productos en su mayoría de origen biológico.

3.2 Mediciones de variables Morfológicas

Se realizaron mediciones del tejido vegetativo, comprendido como altura total, número de hojas y diámetro de tallos con un vernier; esto se realizó cada 15 o 30 días después del trasplante en las 24 plantas en estudio, para un total de 3 muestras de datos.

3.3 Mediciones de variables Fisiológicas

Antes de iniciada la cosecha aproximadamente a los 60 días después de trasplante, se tomaron las 24 plantas en estudio y se les midió la tasa fotosintética máxima con un analizador de gases al infrarrojo (LI-6400XT, Li-Cor, Inc EEUU) y los valores de transpiración y Conductancia, además con una sonda de fluorescencia, se midió los valores del cociente

Fv/Fm (con el OptiSciences), como indicadores del estado del aparato fotosintético entre un tratamiento y otro.

3.4 Rendimiento productivo

La cosecha se realizó en el momento que el fruto inicie su proceso de maduración, la misma se realizó aproximadamente una vez a la semana durante todo el ciclo de cultivo, la cosecha se realizó en forma manual. Los frutos de tomate cherry posterior a la cosecha se pesaron, y se les determinaran los siguientes parámetros, rendimiento total, peso de frutos, grados brix y número de frutos por racimo.

Diseño estadístico en invernadero.

X	O	X	O	P A S I L L O
O	X	O	X	
O	X	O	X	
X	O	X	O	
O	X	O	X	

Figura 1. Diseño experimental aleatorio de los sacos.

Cada saco de fibra de coco tendrá 4 plantas.

X= Tomate a capacidad de campo.

O= Tomate a 25% de agotamiento.

Verdes = 4 pacas para un total de 24 Plantas evaluadas en los tratamientos.

3.5 Análisis de Datos

Debido a que los datos son de carácter multidimensional, se realizara un análisis estadístico a las variables morfológicas como grosor de tallo, número de hojas y altura de las plantas; y a las variables Fisiológicas como Transpiración, Conductancia, Fotosíntesis y Fluorescencia. Este análisis estadístico estará basado en Análisis de varianza de un factor (ANOVA) con el fin de determinar la varianza entre los distintos datos y de esa manera determinar si hay

diferencia significativa; también se realizara una prueba T-student para determinar la diferencia entre dos medias poblacionales pequeñas o dos conjuntos de datos en este caso. De esta manera se pretende comprobar la hipótesis de que tan distinto es un tratamiento del otro, si existe alguna varianza significativa o no hay ninguna diferencia marcada entre los dos tratamientos.

Resultados esperados

Se plantea la hipótesis donde el tomate a capacidad de campo produzca regularmente, sin sufrir grandes alteraciones a nivel fisiológico y morfológico; esto en comparación del tomate a menos 25% de la capacidad de campo, donde se espera tener cambios a nivel fisiológico y morfológico. El resultado principal de esta práctica es vincular la adaptabilidad de la planta con respecto a un déficit hídrico, si puede producir o no, o incluso si la calidad del fruto puede mejorar como sugieren algunos estudios como el de Favati en el 2009. En fin, los resultados esperados están en función del déficit hídrico y sus relaciones con la morfo-fisiología productiva de la planta, esperando obtener resultados de adaptabilidad hídrica y al mismo tiempo comparar que tan distintos son los dos tratamientos, la hipótesis es que deben ser distintos en cuestiones morfológicas, fisiológicas y productivas, donde las plantas sin agotamiento sean mejor adaptadas.

Cronograma de actividades

Actividades generales	Meses 2014					
	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Preparación de almacigo	15 al 28					
Desinfección y ajustes invernadero		2 al 26				
Trasplante al invernadero		27				
Suministración de Fertirriego		28 al 1				
Podas-Deshoja			22 al 1			
Mediciones Morfo-fisiológicas			22 al 1			
Inicio de cosecha						1
Mediciones Fisiológicas (licor y OptiSciences)				27		

Capítulo IV

Resultados

Análisis de Datos Morfológicos

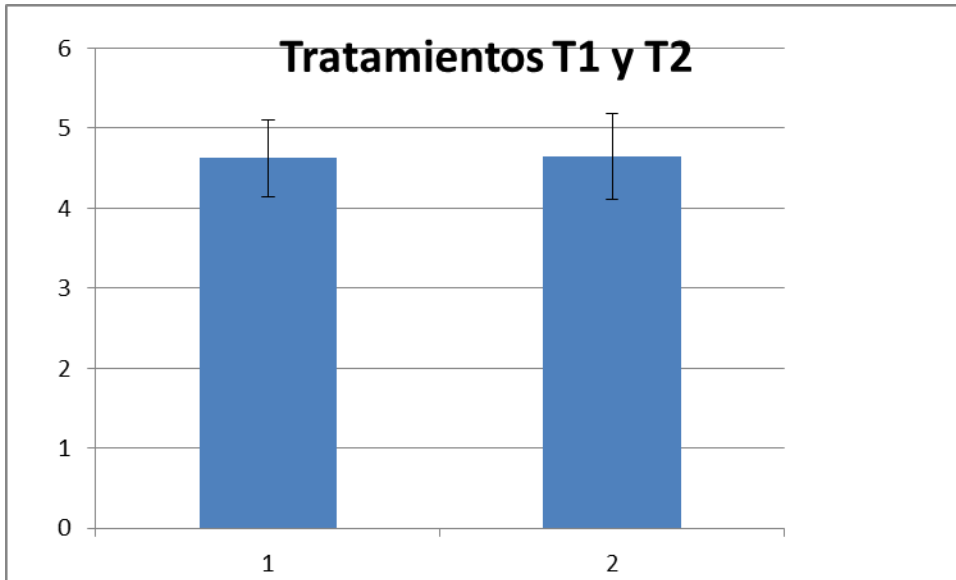
Cuadro 1. Análisis de varianza para diámetro a los 21 días después de trasplante (ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor (Diámetro mm) 21 DDT						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Tratamiento 1	12	55,5	4,625	0,22568182		
Tratamiento 2	12	55,8	4,65	0,28272727		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las va	Suma de cua	Grados de libertad	Promedio de F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupos	0,00375	1	0,00375	0,0147519	0,904431311	4,3009495
Dentro de los gr	5,5925	22	0,25420455			
Total	5,59625	23				

Tabla 1. Prueba T student para diámetro (21 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales Diámetro mm		
	T 1	T 2
Media	4,63	4,65
Varianza	0,23	0,31
Observaciones	12,00	11,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	20,00	
Estadístico t	-0,14	
P(T<=t) una cola	0,45	
Valor crítico de t (una cola)	1,72	
P(T<=t) dos colas	0,89	
Valor crítico de t (dos colas)	2,09	

Grafico 1. Promedio y desviación estándar para diámetro tallo (21 ddt) en tratamientos (T1 y T2)



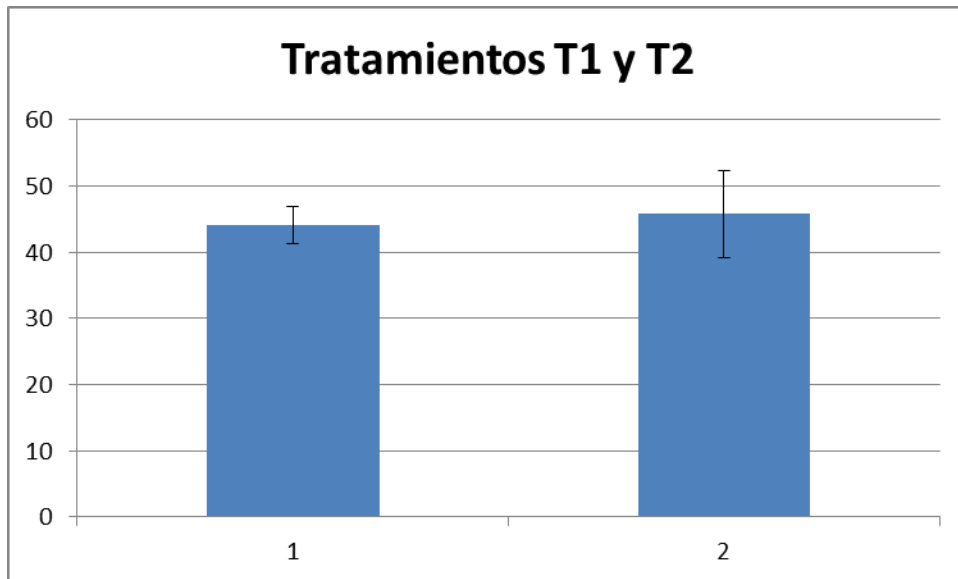
Cuadro 2. Análisis de varianza para altura (21 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor (Altura cm) 21 DDT						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Tratamiento 1	12	529	44,0833333	8,26515152		
Tratamiento 2	12	549	45,75	42,9318182		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las va	Suma de cua	Grados de libertad	Promedio de F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupos	16,6666667	1	16,6666667	0,6510802	0,428364296	4,3009495
Dentro de los gr	563,166667	22	25,5984848			
Total	579,833333	23				

Tabla 2. Prueba T student para altura (21 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales Altura cm		
	T 1	T 2
Media	44,08	45,75
Varianza	8,27	42,93
Observaciones	12,00	12,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	15,00	
Estadístico t	-0,81	
P(T<=t) una cola	0,22	
Valor crítico de t (una cola)	1,75	
P(T<=t) dos colas	0,43	
Valor crítico de t (dos colas)	2,13	

Grafico 2. Promedio y desviación estándar para altura (21 ddt) en tratamientos (T1 y T2)



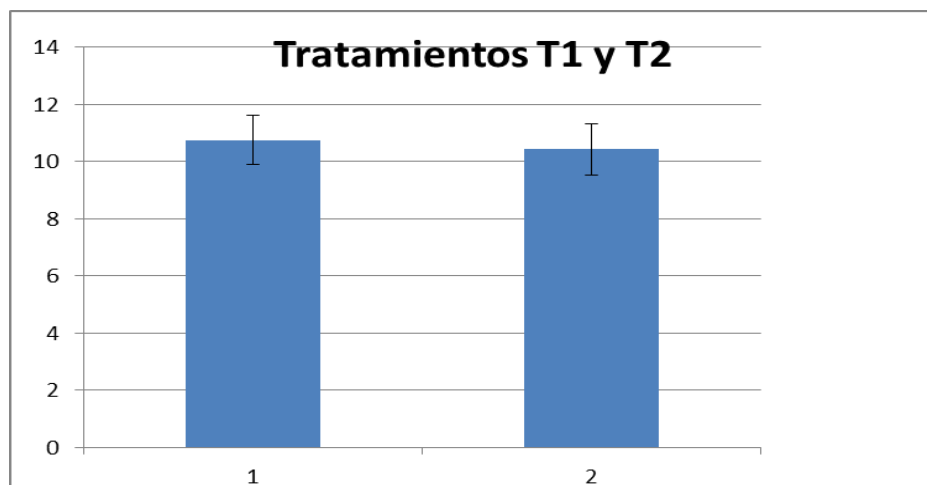
Cuadro 3. Análisis de varianza para número de hojas (21 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor (# hojas) 21 DDT						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Tratamiento 1	12	129	10,75	0,75		
Tratamiento 2	12	125	10,41666667	0,81060606		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las va	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,666666667	1	0,666666667	0,85436893	0,365347354	4,3009495
Dentro de los gr	17,16666667	22	0,78030303			
Total	17,83333333	23				

Tabla 3. Prueba T student para número de hojas (21 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
# Hojas		
	T1	T2
Media	10,75	10,42
Varianza	0,75	0,81
Observaciones	12,00	12,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	22,00	
Estadístico t	0,92	
P(T<=t) una cola	0,18	
Valor crítico de t (una cola)	1,72	
P(T<=t) dos colas	0,37	
Valor crítico de t (dos colas)	2,07	

Grafico 3. Promedio y desviación estándar para número de hojas (21 ddt) en tratamientos (T1 y T2)



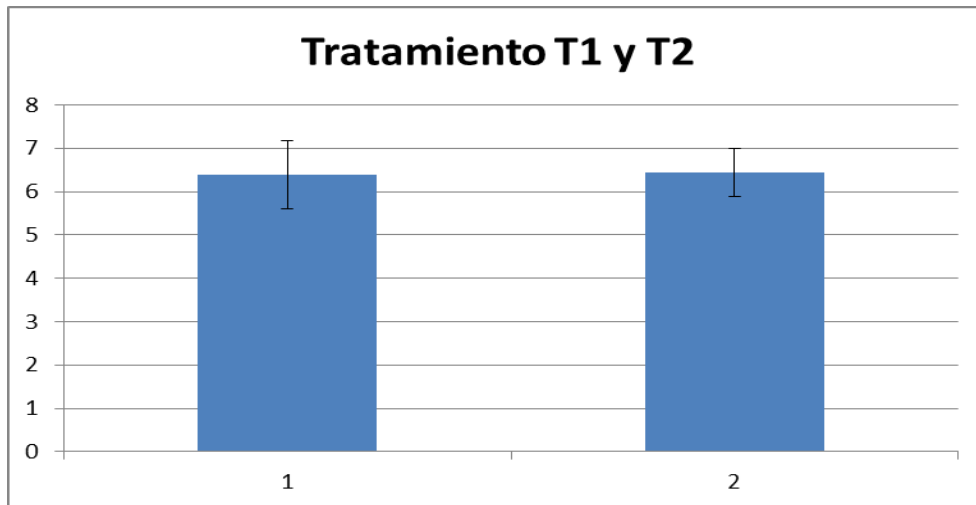
Cuadro 4. Análisis de varianza para diámetro tallo (36 ddt) en dos tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor (Diámetro mm) 36 ddt						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
T 1	12	76,8	6,4	0,61676364		
T 2	12	77,38	6,448333333	0,30532424		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,014016667	1	0,014016667	0,03040202	0,863175766	4,300949502
Dentro de los grupos	10,14296667	22	0,461043939			
Total	10,15698333	23				

Tabla 4. Prueba T student para diámetro tallo (36 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
Diametro mm		
	T 1	T 2
Media	6,4	6,44833333
Varianza	0,61676364	0,30532424
Observaciones	12	12
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	20	
Estadístico t	-0,17436175	
P(T<=t) una cola	0,43166704	
Valor crítico de t (una cola)	1,72471824	
P(T<=t) dos colas	0,86333409	
Valor crítico de t (dos colas)	2,08596345	

Grafico 4. Promedio y desviación estándar para diámetro de tallo (36 ddt) en tratamientos (T1 y T2)



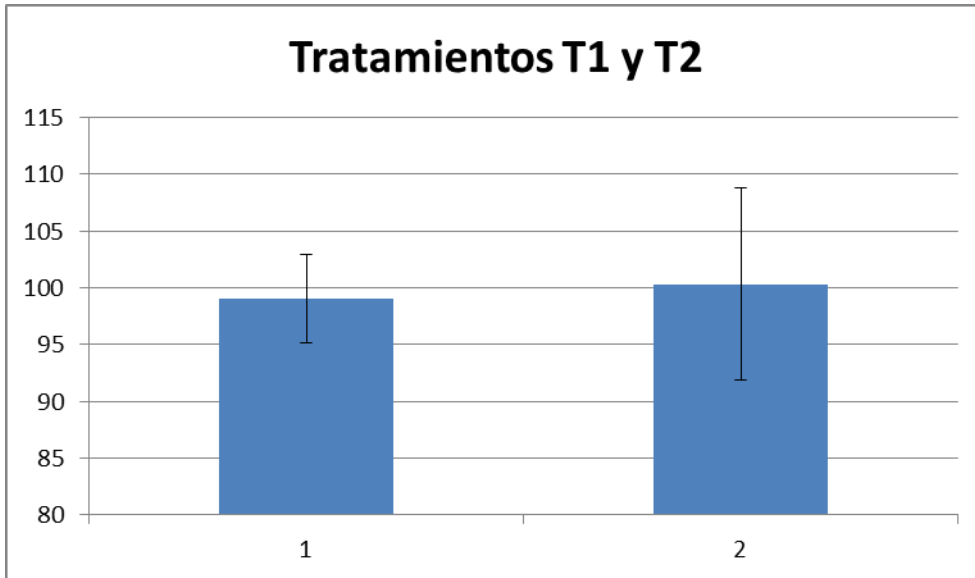
Cuadro 5. Análisis de varianza para altura (36 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor (Altura cm) 36 ddt						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
T1	12	1189	99,08333333	15,1742424		
T2	12	1204	100,3333333	71,3333333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9,375	1	9,375	0,21674402	0,646107986	4,300949502
Dentro de los grupos	951,5833333	22	43,25378788			
Total	960,9583333	23				

Tabla 5. Prueba T student para altura (36 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
Altura cm		
	T 1	T 2
Media	99,08	100,33
Varianza	15,17	71,33
Observaciones	12,00	12,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	15,00	
Estadístico t	-0,47	
P(T<=t) una cola	0,32	
Valor crítico de t (una cola)	1,75	
P(T<=t) dos colas	0,65	
Valor crítico de t (dos colas)	2,13	

Grafico 5. Promedio y desviación estándar para altura (36 ddt) para tratamientos (T1 y T2)



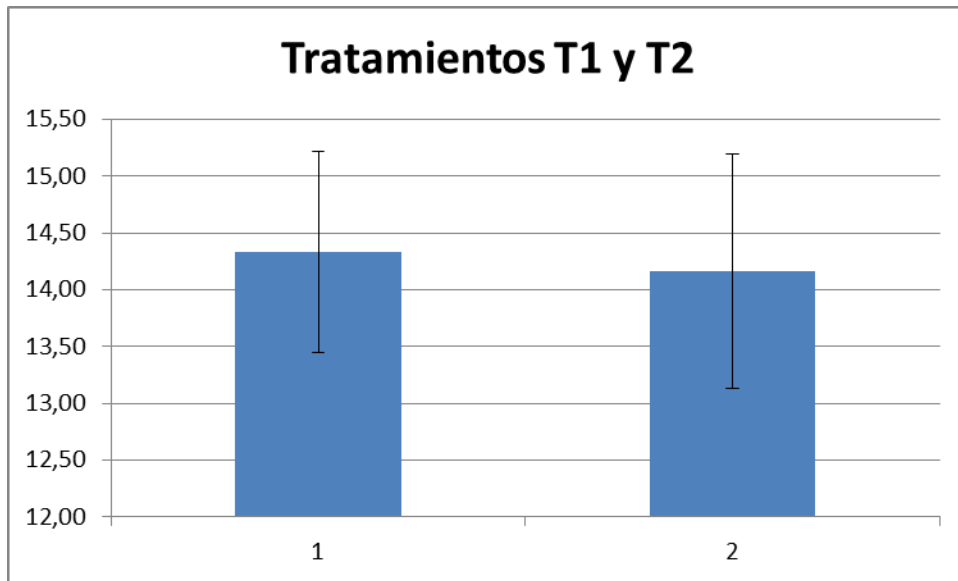
Cuadro 6. Análisis de varianza para número de hojas (36 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor (# Hojas) 36 ddt						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
T1	12	172	14,33333333	0,78787879		
T2	12	170	14,16666667	1,06060606		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,16666667	1	0,16666667	0,18032787	0,675215822	4,300949502
Dentro de los grupos	20,33333333	22	0,924242424			
Total	20,5	23				

Tabla 6. Prueba T student para número de hojas (36 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales			
# Hojas			
	T 1	T 2	
Media	14,45	14,17	
Varianza	0,67	1,06	
Observaciones	11,00	12,00	
Diferencia hipotética de las medias	0,00		
Grados de libertad	21,00		
Estadístico t	0,74		
P(T<=t) una cola	0,23		
Valor crítico de t (una cola)	1,72		
P(T<=t) dos colas	0,46		
Valor crítico de t (dos colas)	2,08		

Grafico 6. Promedio y desviación estándar para número de hojas (36 ddt) en tratamientos (T1 y T2)



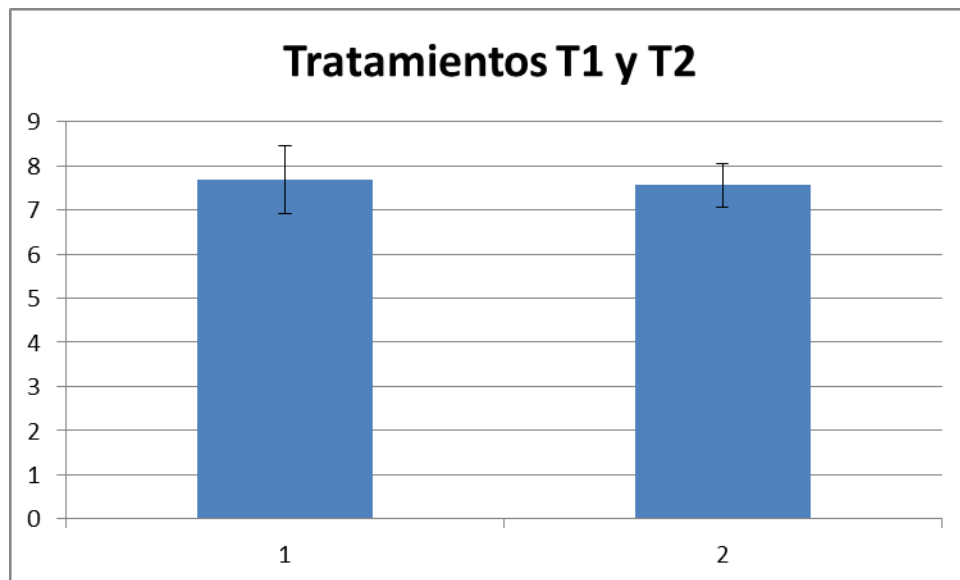
Cuadro 7. Análisis de varianza para diámetro tallo (65 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor (Diametro mm) 65 ddt						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
T1	12	92,15	7,679166667	0,579335606		
T2	12	90,72	7,56	0,251509091		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de la	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,085204167	1	0,085204167	0,205102511	0,655068164	4,300949502
Dentro de lo	9,139291667	22	0,415422348			
Total	9,224495833	23				

Tabla 7. Prueba T student para diámetro tallo (65 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales Diametro mm			
	T 1	T 2	
Media	7,68	7,56	
Varianza	0,58	0,25	
Observaciones	12,00	12,00	
Diferencia hipotética de la:	0,00		
Grados de libertad	19,00		
Estadístico t	0,45		
P(T<=t) una cola	0,33		
Valor crítico de t (una cola)	1,73		
P(T<=t) dos colas	0,66		
Valor crítico de t (dos colas)	2,09		

Grafico 7. Promedio y desviación estándar para diámetro tallo (65 ddt) en tratamientos (T1 y T2)



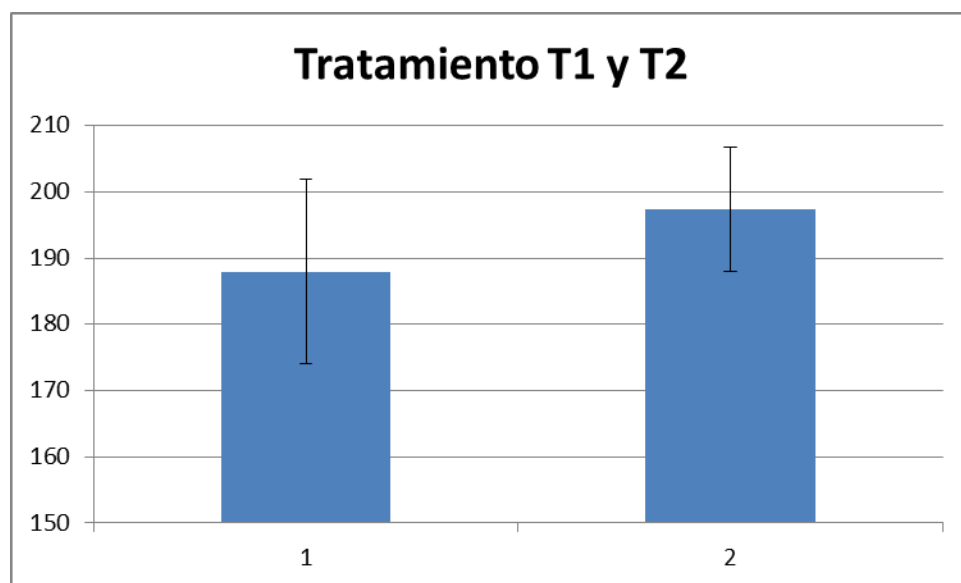
Cuadro 8. Análisis de varianza para altura (65 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor (Altura cm)						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
T1	12	2255	187,9166667	194,8106061		
T2	12	2368	197,3333333	86,96969697		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de la	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	532,0416667	1	532,0416667	3,776287135	0,064887609	4,300949502
Dentro de lo	3099,583333	22	140,8901515			
Total	3631,625	23				

Tabla 8. Prueba T student para altura (65 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales			
Altura cm			
	T 1	T 2	
Media	187,92	197,33	
Varianza	194,81	86,97	
Observaciones	12,00	12,00	
Diferencia hipotética de la:	0,00		
Grados de libertad	19,00		
Estadístico t	-1,94		
P(T<=t) una cola	0,03		
Valor crítico de t (una cola)	1,73		
P(T<=t) dos colas	0,07		
Valor crítico de t (dos colas)	2,09		

Grafico 8. Promedio y desviación estándar para altura (65 ddt) en tratamientos (T1 y T2)



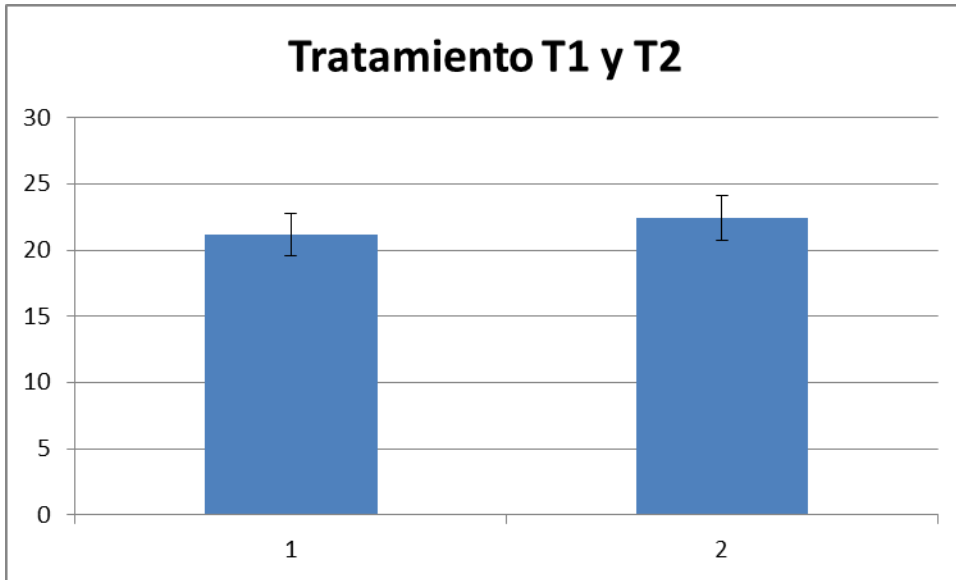
Cuadro 9. Análisis de varianza para numero hojas (65 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor (# Hojas)						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
T1	12	254	21,16666667	2,696969697		
T2	12	269	22,41666667	2,810606061		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de la	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9,375	1	9,375	3,404401651	0,078527519	4,300949502
Dentro de lo	60,58333333	22	2,753787879			
Total	69,95833333	23				

Tabla 9. Prueba T student para numero hojas (65 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales			
# Hojas			
	T 1	T 2	
Media	21,17	22,42	
Varianza	2,70	2,81	
Observaciones	12,00	12,00	
Diferencia hipotética de la:	0,00		
Grados de libertad	22,00		
Estadístico t	-1,85		
P(T<=t) una cola	0,04		
Valor crítico de t (una cola)	1,72		
P(T<=t) dos colas	0,08		
Valor crítico de t (dos colas)	2,07		

Grafico 9. Promedio y desviación estándar para numero hojas (65 ddt) en tratamiento (T1 y T2)



Análisis de Datos Fisiológicos

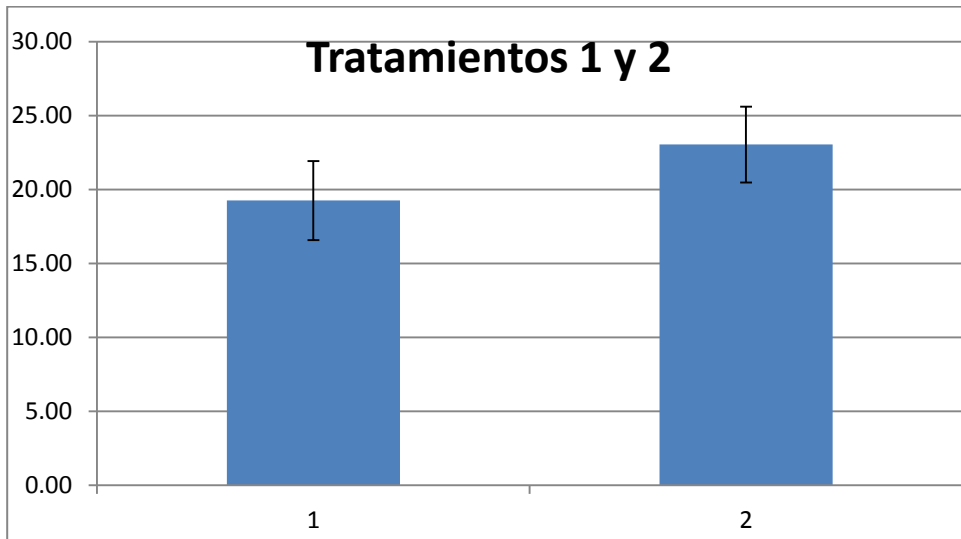
Cuadro 10. Análisis de varianza para Fotosíntesis (Micromol m⁻² s⁻¹) los dos tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor							
Fotosíntesis							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
T1	12	231,05	19,25	7,14			
T2	12	248,56	20,71	6,54			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Origen de las variaciones	suma cuadrados	Grados libertad	Promedio cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupos	12,78	1	12,78	1,87	0,19	4,30	
Dentro de los grupos	150,41	22	6,84				
Total	163,19	23					

Tabla 10. Prueba T student para fotosíntesis ($\text{Micromol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en los dos tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
Fotosíntesis	T1	T2
Media	19,25	
Varianza	7,14	6,54
Observaciones	12,00	12,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	22,00	
Estadístico t	-1,37	
P(T<=t) una cola	0,09	
Valor crítico de t (una cola)	1,72	
P(T<=t) dos colas	0,19	
Valor crítico de t (dos colas)	2,07	

Grafico 10. Promedios y desviación estándar para fotosíntesis ($\text{Micromol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (T1 y T2)



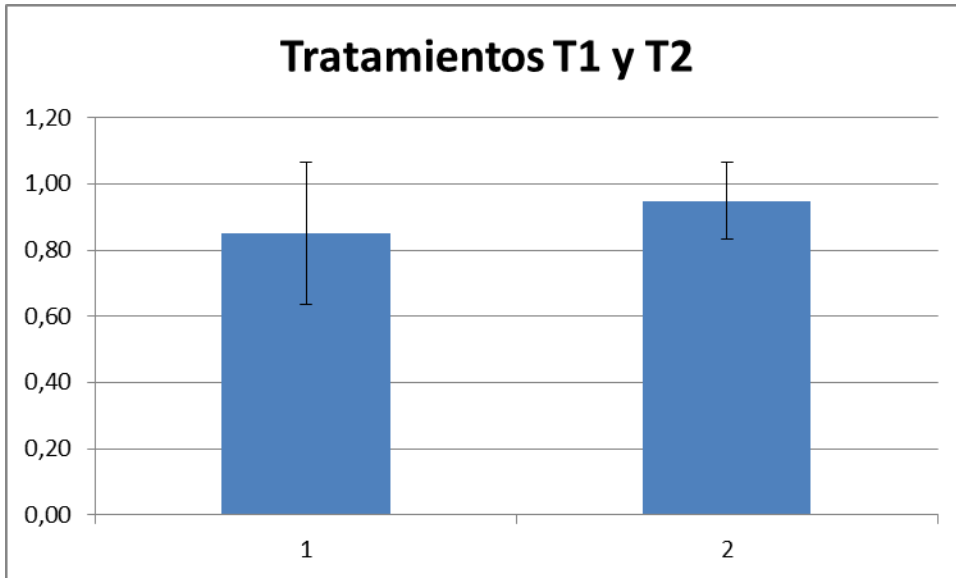
Cuadro 11. Análisis de varianza para Conductancia estomática (mmol m⁻² s⁻¹) en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor						
Conductancia						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
T1	12	28,20	0,85	27,05		
T2	12	11,37	0,95	0,01		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	11,80	1	11,80	0,87	0,36	4,30
Dentro de los grupos	297,65	22	13,53			
Total	309,45	23				

Tabla 11. Prueba T student para conductancia estomática (mmol m⁻² s⁻¹) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
Conductancia	T 1	T 2
Media	2,35	0,95
Varianza	27,05	0,01
Observaciones	12,00	12,00
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	11,00	
Estadístico t	0,93	
P(T<=t) una cola	0,19	
Valor crítico de t (una cola)	1,80	
P(T<=t) dos colas	0,37	
Valor crítico de t (dos colas)	2,20	

Grafico 11. Promedios y Desviación estándar para Conductancia estomática (mmol m⁻² s⁻¹) Tratamientos (T1 y T2)



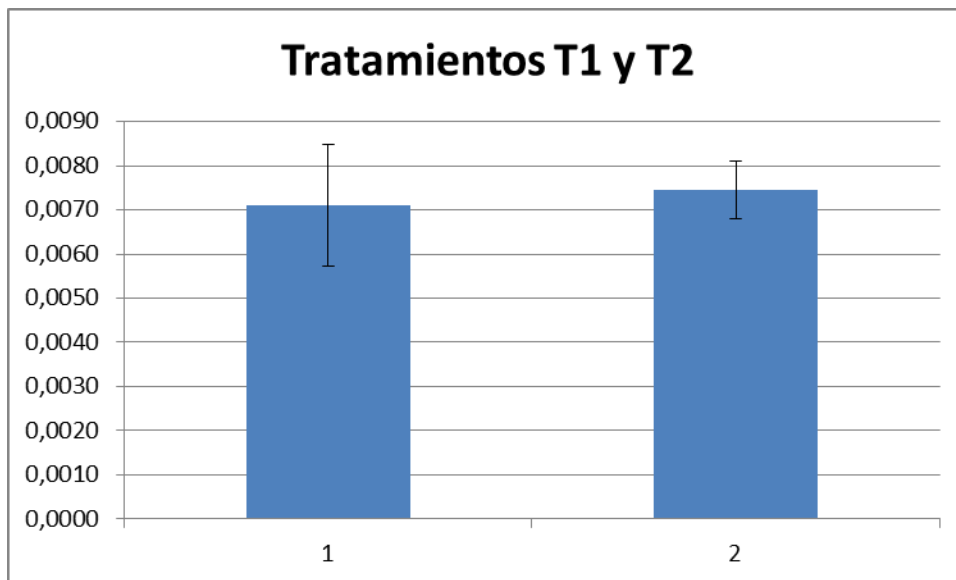
Cuadro 12. Análisis de varianza para transpiración (mmol m⁻² s⁻¹) en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor							
Transpiración							
RESUMEN							
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza			
T 1	12	0,085	0,00709939	0,00000190			
T 2	12	0,089	0,00744635	0,00000042			
ANÁLISIS DE VARIANZA							
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F	
Entre grupos	7,22E-07	1,00E+00	7,22E-07	6,22E-01	4,39E-01	4,30E+00	
Dentro de los grupos	2,55E-05	2,20E+01	1,16E-06				
Total	2,63E-05	2,30E+01					

Tabla 12. Prueba T student para Transpiración ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
Transpiración	T1	T2
Media	0,007	0,007
Varianza	0,000	0,000
Observaciones	12,000	12,000
Diferencia hipotética de las medias	0,000	
Grados de libertad	16,000	
Estadístico t	-0,789	
P(T<=t) una cola	0,221	
Valor crítico de t (una cola)	1,746	
P(T<=t) dos colas	0,442	
Valor crítico de t (dos colas)	2,120	

Grafico 12. Promedio y desviación estándar para transpiración ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (T1 y T2)



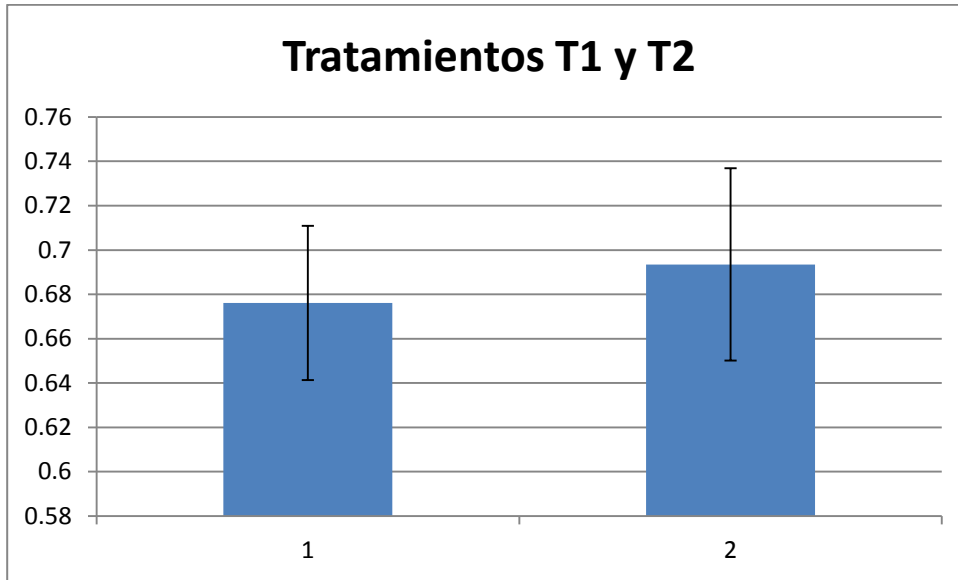
Cuadro 13. Análisis de varianza para Fluorescencia en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor						
Fluorescencia FV/FM						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
T1	12	8,113	0,676083333	0,00120881		
T2	12	8,322	0,6935	0,00187973		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,001820042	1	0,001820042	1,17857817	0,289398748	4,300949502
Dentro de los grupos	0,033973917	22	0,001544269			
Total	0,035793958	23				

Tabla 13. Prueba T student para Fluorescencia en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
FV/m	T1	T2
Media	0,676083333	0,6935
Varianza	0,001208811	0,00187973
Observaciones	12	12
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	21	
Estadístico t	-1,085623403	
P(T<=t) una cola	0,144975638	
Valor crítico de t (una cola)	1,720742903	
P(T<=t) dos colas	0,289951277	
Valor crítico de t (dos colas)	2,079613845	

Grafico 13. Promedio y desviación estándar para Fluorescencia en tratamientos (T1 y T2)



Análisis de productividad

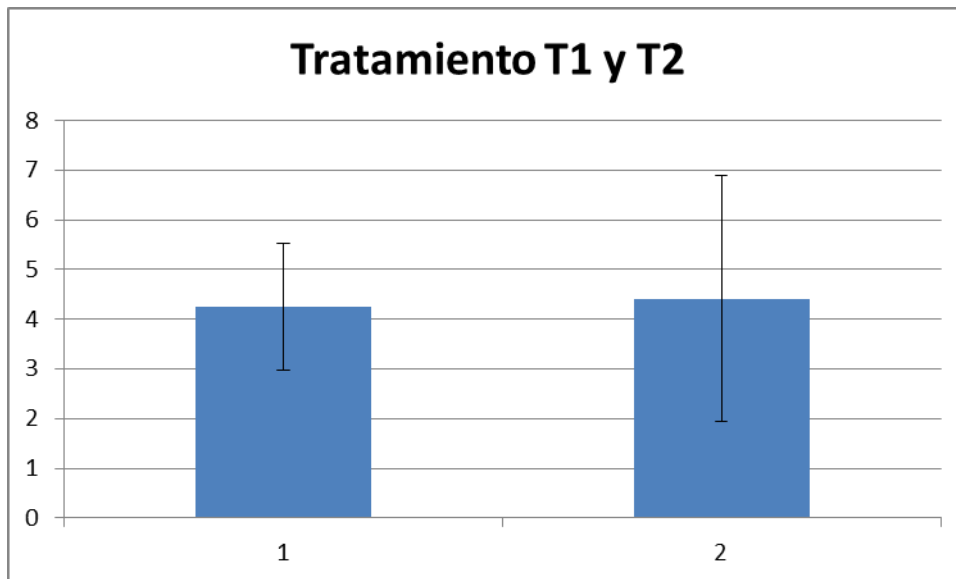
Cuadro 14 . Análisis de varianza para número de frutos cosechados (65 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor						
# Frutos						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
T 1		12	51	4,25	1,65909091	
T 2		12	53	4,416666667	6,083333333	
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,166666667	1	0,166666667	0,04305284	0,837534474	4,3009495
Dentro de los grupos	85,16666667	22	3,871212121			
Total	85,33333333	23				

Tabla 13. Prueba T student para número de frutos cosechados (65 ddt) en tratamientos (T1 y T2)

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
# de frutos	T1	T2
Media	4,25	4,42
Varianza	1,66	6,08
Observaciones	12,00	12,00
Varianza agrupada	3,87	
Diferencia hipotética de las medias	0,00	
Grados de libertad	22,00	
Estadístico t	-0,21	
P(T<=t) una cola	0,42	
Valor crítico de t (una cola)	1,72	
P(T<=t) dos colas	0,84	
Valor crítico de t (dos colas)	2,07	

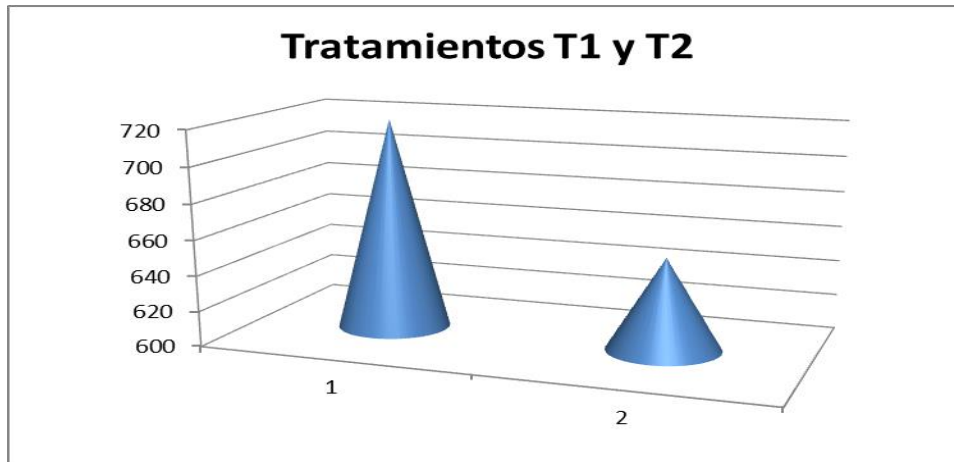
Gráfico 13. Promedio y desviación estándar de numero de frutos cosechados (65 ddt) en tratamientos (T1 y T2)



Cuadro 14 . Análisis de varianza para el peso (g) de frutos cosechados en tratamientos (T1 y T2)

Análisis de varianza de un factor						
Producción (G)						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
T 1		3	1982	660,6666667	10921,3333	
T 2		3	1231	410,3333333	46882,3333	
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	94000,16667	1	94000,16667	3,2523946	0,145654329	7,70864742
Dentro de los grupos	115607,3333	4	28901,83333			
Total	209607,5	5				

Grafica 13. Promedio de producción (gramos) entre tratamientos (T1 y T2)



Discusión

Variables Morfológicas

En el caso de ambos tratamientos T1 (100% fertirriego) y T2 (25% de agotamiento) se observó que la varianza entre las medias de los datos no fueron significativas, pues como lo indica el análisis de varianza (ANOVA), la probabilidad en ambos casos fue mayor a 0,05 lo cual no es significativo, pues la varianza entre los datos es muy poca, siendo estos similares; por lo tanto para las variables morfológicas de grosor de tallo, número de hojas y altura las plantas se comportaron sin varianzas significativas en los tres grupos de datos (21 ddt, 36 ddt, 65 ddt) en diámetro de tallo, altura de planta y número de hojas por planta. También en el análisis de datos según (T student) se logró determinar que en todos los datos morfológicos la probabilidad estadística fue ($P \geq 0,05$) por tanto se determina que las varianzas entre los dos tratamientos son estadísticamente no significativas. Las variables morfológicas en ambos tratamientos no difieren entre sí, lo cual indica que el agotamiento de 25% en fertirriego no posee ningún efecto sobre las variables morfológicas de la planta de tomate Cherry bajo invernadero. La planta a nivel morfológico se observó con las hojas reducidas y estresadas en ambos ensayos, si bien no se tomaron datos del tamaño de las hojas, fue notorio su estrés el cual fue evidenciado en los datos fisiológicos de fluorescencia, los cuales fueron bajos, además como lo menciona (Florido 2014) la expansión foliar se reduce como respuesta al estrés, lo cual afecta directamente la fotosíntesis en ambos tratamientos.

Variables Fisiológicas

Fluorescencia de la clorofila

La fluorescencia de la clorofila en ambos casos fue baja, con un promedio de 0,673 FV/FM para el T1 y 0,693 FV/FM para el T2, pues según (Maxwell et al, 2000) para el tomate y la mayoría de plantas se espera una fluorescencia cercana a 0,8 FV/FM como un buen indicador de la salud fotosintética en la planta, por lo tanto la planta estaba estresada probablemente por una alta intensidad luminosa, pH bajo y alta temperatura lo cual desactiva o inhibe moléculas fotosintéticas del Fotosistema II. Si bien como se explica, en ambos tratamientos hubo un estrés notorio, la variación en la fluorescencia de un tratamiento con respecto al otro no fue significativo según (T student y Anova) donde ($P \geq 0,05$), por lo tanto ambos tratamientos tuvieron los mismos efectos adversos sobre la fluorescencia pues se presentaron las mismas condiciones fisiológicas en ambos.

Transpiración por intercambio de gases

La transpiración según (Percy, 1989) está íntimamente relacionada con la apertura estomática la cual regula la salida de agua en la planta, por lo tanto en ambos tratamientos la transpiración foliar fue muy similar, y según el análisis estadístico (T student y Anova) la probabilidad fue ($P \geq 0,05$) lo cual no es significativo en términos de varianza entre un tratamiento y el otro, por lo tanto ambos tienen una tasa de transpiración afectada por factores exógenos al tratamiento, como la intensidad lumínica y la Temperatura, partiendo del hecho

que en ambos tratamientos no hubo diferencias significativas y que ambos tratamientos tenían una distribución al azar. En algunos estudios como lo señala (Florido, 2014) es probable que las plantas con estrés hídrico regulen el cierre de estomas como una estrategia que evite la transpiración y pérdida de líquido, por lo tanto cuando el mesofilo sufre deshidratación los estomas se cierran por efecto del Ácido abscísico (ABA), el cual regula la apertura estomática en condiciones de estrés hídrico, entonces es muy probable que las plantas con agotamiento hídrico (T2) hayan experimentado este efecto para contrarrestar el déficit e igualar las condiciones del tratamiento 1. Además diversos autores señalan la relación del estrés hídrico con un aumento del ABA en el área foliar como respuesta de tolerancia al estrés. Según (Florido, 2014) las condiciones de estrés hídrico son capaces de inducir una disminución del agua disponible del citoplasma de las células, lo cual se conoce como estrés osmótico, es posible que el tratamiento 2 con el 25% de agotamiento haya tenido alguna adaptación osmótica para regular sus pérdidas de agua y por lo tanto compensar ese 25% de déficit hídrico, teniendo valores similares al Tratamiento 1.

Conductancia estomática

La conductancia estomática está íntimamente relacionada con la transpiración; para los tratamientos T1 y T2 se observó que la conductancia vario en promedios; en el T1 el promedio según (ANOVA) es de 2,34 y T2 0,94, sin embargo ($P \geq 0,05$) por lo tanto no es significativa según (T student). Según (Gowing *et al.* 1990) la reducción de la conductancia en el T2 debería también disminuir la transpiración del mismo tratamiento, lo cual no es así en este caso. En el caso de la conductancia aunque parece observarse una varianza en los datos promedios, el análisis indica que no es una varianza que los diferencie significativamente, por lo tanto ambos tratamientos son similares. Tal como lo sugieren muchos autores como (Florido, 2014) el estrés hídrico disminuye la conductancia estomática, lo cual fue notorio en entre los dos tratamientos aunque no haya sido significativo, por lo tanto el agotamiento de 25% represento un efecto en este parámetro fisiológico.

Fotosíntesis

La fotosíntesis para ambos tratamientos fue muy similar, pues en promedio se obtuvo para el T1 19,25 y para el T2 20,71 lo cual según (ANOVA y T student) no es significativa la varianza debido a ($P \geq 0,05$), por lo tanto la tasa fotosintética en ambos casos fue afectada por la Temperatura e intensidad lumínica en el invernadero, lo cual es exógeno al tratamiento, y no se debe al factor de fertirriego en estudio.

Por lo tanto en las variables Fisiológicas la cantidad de agua y nutrientes no fue un factor que determinara alguna variable significativa en los dos tratamientos, sin embargo las plantas en ambos casos pudieron estar estresadas por las altas Temperaturas y la alta intensidad lumínica que se dio en el invernadero, pero para fines de este estudio el agotamiento de 25% del fertirriego en el tratamiento T2 no mostro ninguna diferencia significativa con respecto al T1 a capacidad de campo, por lo tanto la afectación es ambiental y no hídrica.

No se registraron los datos del pH y la conductividad eléctrica del fertirriego, pues el estudio estaba orientado a determinar la adaptabilidad del tomate a un 25% agotamiento, sin embargo se observó durante las mediciones realizadas en el agua de drenaje y gotero que el pH estaba

bastante alto cerca de 7 y que sumado a esto la conductividad eléctrica superaba la recomendada para el tomate, lo cual sumado a las variables ambientales podría explicar el estrés en las plantas de tomate en términos de Fluorescencia.

Variable de Productividad

En la productividad ambos tratamientos se mostraron semejantes, pues la varianza en el número de frutos fue ($P \geq 0,05$), por lo tanto no es significativa y la floración no fue afectada como se pensaba; además los promedios fueron similares donde el T1 fue 4,25 y T2 4,41 respectivamente. El peso de los frutos por tratamiento se diferenció, sin embargo estadísticamente la varianza no es significativa como lo indican los análisis (ANOVA y T student). Aunque el peso en los frutos no fue significativo, se puede decir que este fue el parámetro más cercano a una diferencia significativa, dado que los promedios en gramos son distantes, donde T1 obtuvo un promedio de 660 g y el T2 410 gramos en las tres cosechas realizadas, además se observó que conforme avanzaban las cosechas por semana, los frutos al cosechar en el T1 eran mayores al T2, lo que podría llegar a ser significativo. La cantidad de asimilados por la planta y la conducción de nutrientes, azúcares y otros, están íntimamente relacionados con la cantidad de agua que absorbe la planta como medio de translocación de nutrientes a los frutos, por lo tanto según (Florido 2014) las mayores afectaciones del estrés hídrico en tomate se dan en la parte productiva principalmente.

En cuanto al número de ramas y frutos por planta este fue muy estandarizado en ambos tratamientos por lo que no se comprobó estadísticamente, ya que observando los datos analizados es seguro afirmar que no existe una diferencia marcada en los tratamientos. En el caso de los grados brix de los frutos ambos andan cercanos a 4 y 5 grados brix, por lo tanto no se evidencia lo sugerido por (Favati et al 2009) donde los solutos en frutos ya sean glucosa u otros deben mejorar en condiciones de disminución de agua para el T2.

Muchos autores destacan la tolerancia a estrés hídrico por parte de plantas de la especie *Solanum pimpinellifolium*, por lo que es muy posible que este híbrido en específico tenga grandes posibilidades de adaptación fisiológica para soportar la falta de agua, sin embargo se considera la necesidad de realizar más ensayos de estas variedades no solo en condiciones de invernadero, sino también en campo, con el fin de determinar la tolerancia al estrés hídrico y cuantificar un rango de cuanto realmente puede tolerar con estas aparentes adaptaciones hídricas.

Conclusiones

Las plantas de tomate cherry de este híbrido son tolerantes al estrés hídrico en términos Fisiológicos y morfológicos, pues con un 25% de agotamiento la planta no presenta afectación alguna.

Se concluye que el parámetro productivo de peso de los frutos tiene una tendencia a la disminución en cada cosecha para el tratamiento con un agotamiento de 25% del fertirriego, por lo tanto ese agotamiento repercute a mediano y largo plazo en la productividad de esta variedad de tomate.

Finalmente se concluye que se puede disminuir un 25% el fertirriego en tomate cherry, sin embargo es posible una afectación a mediano o largo plazo en la productividad en términos de peso en frutos cosechados.

Recomendaciones

Aumentar el número de plantas por tratamiento para próximos estudios.

Regular con precisión el pH y Conductividad del agua y soluciones del fertirriego.

Tener sensores de temperatura bien distribuidos en el invernadero para poder regular y modelar las condiciones internas al sistema.

Extender el tiempo de cosechas y observaciones de producción en las plantas para poder observar la posible tendencia en la disminución de peso de los frutos.

Realizar ensayos en campo para observar otras variables que podrían afectar las plantas a nivel hídrico, tales como el viento, humedad relativa entre otros.

Bibliografía Consultada

Blancard, Dominique Laterrot, Henri Marchoux, Georges., 2011. *Enfermedades del tomate: identificar, conocer, controlar*. España, 682p.

Burney et al., 2010 J. Burney, L. Woltering, M. Burke, R. Naylor, D. Pasternak *Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano-Sahel Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 107 (2010), pp. 1848–1853

Davis et al., 2009 S.L. Davis, M.D. Dukes, G.L. Miller. *Landscape irrigation by evapotranspiration-based irrigation controllers under dry conditions in Southwest Florida Agricultural Water Management*, 96 (2009) (2009), pp. 1828–1836

Favati et al., 2009 F. Favati, S. Lovelli, F. Galgano, V. Miccolis, T. Di Tommaso, V. Candido *Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling Scientia Horticulturae*, 122 (2009), pp. 562–571

Florida, M.2014. *TOLERANCIA A ESTRÉS POR DÉFICIT HÍDRICO EN TOMATE (Solanum lycopersicum L.)* Ministerio de Educación Superior. Cultivos Tropicales, Cuba , 2014, vol. 35, no. 3, pp. 70-88

Génova, L. 2013. *Respuesta productiva del tomate (Solanum lycopersicum L.) bajo cubierta a la distribución de la humedad generada por riego por goteo subterráneo y superficial*. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, Argentina, Vol 112 (1):18-26

Hao, L. 2013. *Drip Irrigation Scheduling for Tomato Grown in Solar Greenhouse Based on Pan Evaporation in North China Plain*. Journal of Integrative Agriculture, 12(3): 520-531. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530005, P.R.China.

Hartz , T . 2009. *Drip Irrigation and Fertigation Management of Processing Tomato*. Dept. of Plant Sciences, University of California, Davis

Jaramillo J. Rodriguez V.P., Guzmán M., zapata M.,Rengifo T. 2007. Manual Técnico Buenas Prácticas Agrícolas –BpaEn La producción de Tomate Bajo Condiciones Protegidas. Corpoica – Mana – Gobernación de Antioquia – Fao. 331 P

Maxwell K, Johnson GN (2000) *Chlorophyll fluorescence*. A practical guide. J Exp Bot 51: 659-668

Nicola, S; Tibaldi, G; Fontana, E. 2009. *Tomato production systems and their application to the tropics*. Proc. IS on tomato in the tropics. Acta Horticulturae 821:27-33

PEARCY RW, ED SCHULZE & R ZIMMERMANN. 1989. *Measurement of transpiration and leaf conductance: 137-153*. En RW Pearcy, J Ehleringer, HA Mooney & PW Rundel (eds.). *Plant Physiological Ecology*: Field methods and instrumentation. Chapman and Hall, New York

Toor et al., 2006 R.K. Toor, G.P. Savage, A. Heeb *Influence of different types of fertilizers on the major antioxidant components of tomatoes*. Journal of Food Composition and Analysis, 19 (2006), pp. 20–27.

Anexo 10.4. Imágenes del Proyecto

Imagen 1. Plantas en desarrollo 21 días después de trasplante



Imagen 2. Plantas en desarrollo 36 días después de trasplante (floración)

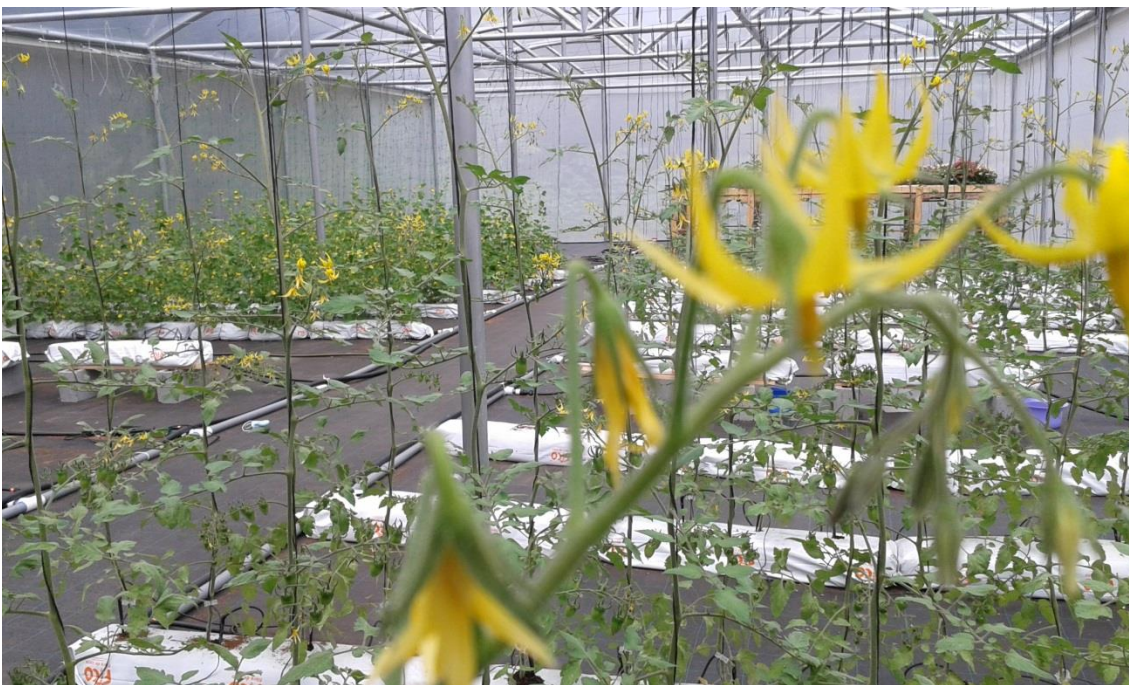


Imagen 3. Plantas en producción a los 65 días después de trasplante.



FACULTAD DE TIERRA Y MAR

ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

TRABAJO: **PRACTICA PROFESIONAL**

SUPERVISADA

ESTUDIANTE:

ALEJANDRO TORRES BERMÚDEZ

PROFESOR TUTOR DEL CURSO:

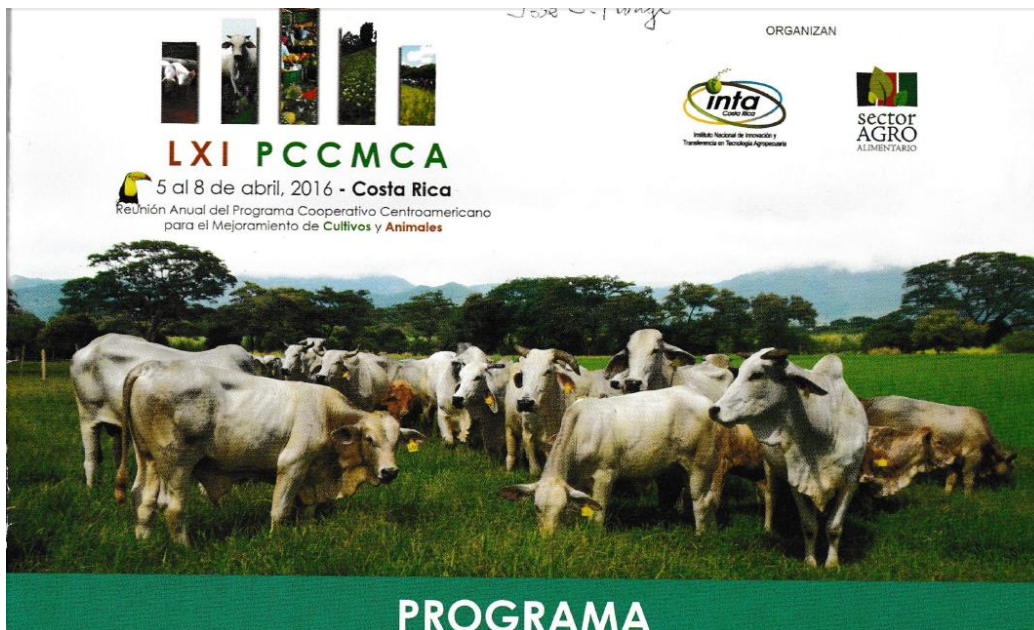
RAFAEL OROZCO

UNA
UNIVERSIDAD
NACIONAL
COSTA RICA



Heredia, Costa Rica, Noviembre del 2014

Anexo 10.5. Programa de reunión anual del programa cooperativo centroamericano para el mejoramiento de cultivos y animales.



LXI PCCMCA			Mesa de ARROZ Y SORGO
			MARTES 5 DE ABRIL
HORA	CÓDIGO	TÍTULO / EXPOSITOR	
1:30 PM		Establecimiento de mesa. Presidente de Mesa	
1:45 PM	AYS-01	Biofortificación de arroz para América Latina y el Caribe. Jaime Borrero	
2:00 PM	AYS-02	Evaluación de la interacción genotipo ambiente para la acumulación de zinc en grano pulido de arroz. Andres Sanchez	
2:15 PM	AYS-03	Arroz biofortificado para Bolivia, proyecto Harvest Plus. J. Viruez	
2:30 PM	AYS-04	Determinación de la población de variedades y prácticas agronómicas en el cultivo de arroz en Ecuador. Mayra Orrego	
2:45 PM	AYS-05	Nuevas líneas obtenidas por hibridaciones dentro del programa de mejoramiento genético de arroz en Cuba. Sandra Diaz	
3:00 PM		Refrigerio	
3:30 PM	AYS-06	Evaluación de sorgos híbridos para grano en los ensayos uniformes del PCCMCA 2015. Rene Clará	
3:45 PM	AYS-07	Comportamiento de la población de <i>Stenectarsonemus spinky</i> en dos variedades de arroz, ante el uso de acaricida, Panamá. Evelyn Quiros	
4:00 PM	AYS-08	Resistencia de <i>Rottboella conchinchinensis</i> a herbicidas "tops" inhibidores de la ACCasa en CR. Franklin Herrera	
4:15 PM	AYS-09	Avances en la selección de nuevos genotipos de arroz biofortificados con zinc en Panamá. Victor Camargo	
4:30 PM	AYS-10	Análisis sensorial de variedades biofortificadas de arroz del IDIAP 2013. Omaira Hernández	
4:45 PM	AYS-11	Ensayos regionales de adaptación y rendimiento. Jose Wilfredo Castañeda	
5:00 PM	AYS-12	Características agronómicas de materiales de sorgo evaluados bajo temporal en Campeche. Mirna Hernández	
5:15 PM	AYS-13	Caracterización agronómica de tres cultivares de arroz obtenidos mediante el cultivo in vitro de anteras. Noraida Perez Leon	
			MIÉRCOLES 6 DE ABRIL
4:00 PM	AYS-14	Producción de materiales comerciales de sorgo bajo temporal en el estado de Campeche, México. Mirna Hernandez	
4:15 PM	AYS-15	La repetitividad como estadístico de precisión experimental. Roman Gordon	
4:30 PM	AYS-16	Relación de la repetitividad con la estimación de precisión experimental en el análisis combinado de ensayos. Roman Gordon	

Anexo 10.6. Certificado por ponencia en el congreso universitario de cambio climático y riesgos, realizado en el campus Omar Dengo, Universidad Nacional, Costa Rica



Anexo 10.7. IEEE COPYRIGHT AND CONSENT FORM

To ensure uniformity of treatment among all contributors, other forms may not be substituted for this form, nor may any wording of the form be changed. This form is intended for original material submitted to the IEEE and must accompany any such material in order to be published by the IEEE. Please read the form carefully and keep a copy for your files.

TITLE OF PAPER/ARTICLE/REPORT, INCLUDING ALL CONTENT IN ANY FORM, FORMAT, OR MEDIA (hereinafter, “the Work”):

Using IoT resources to enhance the accuracy of overdrain measurements in greenhouse horticulture

COMPLETE LIST OF AUTHORS: Arys Carrasquilla-Batista, Alfonso Chacón-Rodríguez, Milton Solórzano-Quintana

IEEE PUBLICATION TITLE (Journal, Magazine, Conference, Book): CONCAPAN 2016

COPYRIGHT TRANSFER

1. The undersigned hereby assigns to The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Incorporated (the “IEEE”) all rights under copyright that may exist in and to: (a) the above Work, including any revised or expanded derivative works submitted to the IEEE by the undersigned based on the Work; and (b) any associated written or multimedia components or other enhancements accompanying the Work.

CONSENT AND RELEASE

2. In the event the undersigned makes a presentation based upon the Work at a conference hosted or sponsored in whole or in part by the IEEE, the undersigned, in consideration for his/her participation in the conference, hereby grants the IEEE the unlimited, worldwide, irrevocable permission to use, distribute, publish, license, exhibit, record, digitize, broadcast, reproduce and archive, in any format or medium, whether now known or hereafter developed: (a) his/her presentation and comments at the conference; (b) any written materials or multimedia files used in connection with his/her presentation; and (c) any recorded interviews of him/her (collectively, the “Presentation”). The permission granted includes the transcription and reproduction of the Presentation for inclusion in products sold or distributed by IEEE and live or recorded broadcast of the Presentation during or after the conference.

3. In connection with the permission granted in Section 2, the undersigned hereby grants IEEE the unlimited, worldwide, irrevocable right to use his/her name, picture, likeness, voice and biographical information as part of the advertisement, distribution and sale of products incorporating the Work or Presentation, and releases IEEE from any claim based on right of privacy or publicity.

4. The undersigned hereby warrants that the Work and Presentation (collectively, the “Materials”) are original and that he/she is the author of the Materials. To the extent the Materials incorporate text passages, figures, data or other material from the works of others, the undersigned has obtained any necessary permissions. Where necessary, the undersigned has obtained all third party permissions and consents to grant the license above and has provided copies of such permissions and consents to IEEE.

Please check this box if you do not wish to have video/audio recordings made of your conference presentation.

See reverse side for Retained Rights/Terms and Conditions, and Author Responsibilities.

GENERAL TERMS

The undersigned represents that he/she has the power and authority to make and execute this assignment.

The undersigned agrees to indemnify and hold harmless the IEEE from any damage or expense that may arise in the event of a breach of any of the warranties set forth above.

In the event the above work is not accepted and published by the IEEE or is withdrawn by the author(s) before acceptance by the IEEE, the foregoing copyright transfer shall become null and void. Even in this case, IEEE will retain an archival copy of the manuscript.

For jointly authored Works, all joint authors should sign, or one of the authors should sign as authorized agent for the others.

(1) _____ **October 11th, 2016** _____

Author/Authorized Agent for Joint Authors Date

U.S. GOVERNMENT EMPLOYEE CERTIFICATION (WHERE APPLICABLE)

This will certify that all authors of the Work are U.S. government employees and prepared the Work on a subject within the scope of their official duties. As such, the Work is not subject to U.S. copyright protection.

(2) _____

Authorized Signature Date

(Authors who are U.S. government employees should also sign signature line (1) above to enable the IEEE to claim and protect its copyright in international jurisdictions.)

CROWN COPYRIGHT CERTIFICATION (WHERE APPLICABLE)

This will certify that all authors of the Work are employees of the British or British Commonwealth Government and prepared the Work in connection with their official duties. As such, the Work is subject to Crown Copyright and is not assigned to the IEEE as set forth in the first sentence of the Copyright Transfer Section above. The undersigned acknowledges, however, that the IEEE has the right to publish, distribute and reprint the Work in all forms and media.

(3) _____

Authorized Signature Date

(Authors who are British or British Commonwealth Government employees should also sign line (1) above to indicate their acceptance of all terms other than the copyright transfer.)

rev. 042016

IEEE COPYRIGHT FORM (continued)

RETAINED RIGHTS/TERMS AND CONDITIONS

General

1. Authors/employers retain all proprietary rights in any process, procedure, or article of manufacture described in the Work.

2. Authors/employers may reproduce or authorize others to reproduce the Work, material extracted verbatim from the Work, or derivative works for the author’s personal use or for company use, provided that the source and the IEEE copyright notice are indicated, the copies

are not used in any way that implies IEEE endorsement of a product or service of any employer, and the copies themselves are not offered for sale.

3. In the case of a Work performed under a U.S. Government contract or grant, the IEEE recognizes that the U.S. Government has royalty-free permission to reproduce all or portions of the Work, and to authorize others to do so, for official U.S. Government purposes only, if the contract/grant so requires.

4. Although authors are permitted to re-use all or portions of the Work in other works, this does not include granting third-party requests for reprinting, republishing, or other types of re-use. The IEEE Intellectual Property Rights office must handle all such third-party requests.

5. Authors whose work was performed under a grant from a government funding agency are free to fulfill any deposit mandates from that funding agency.

Author Online Use

6. **Personal Servers.** Authors and/or their employers shall have the right to post the accepted version of IEEE-copyrighted articles on their own personal servers or the servers of their institutions or employers without permission from IEEE, provided that the posted version includes a prominently displayed IEEE copyright notice and, when published, a full citation to the original IEEE publication, including a link to the article abstract in IEEE Xplore. Authors shall not post the final, published versions of their papers.

7. **Classroom or Internal Training Use.** An author is expressly permitted to post any portion of the accepted version of his/her own IEEE-copyrighted articles on the author's personal web site or the servers of the author's institution or company in connection with the author's teaching, training, or work responsibilities, provided that the appropriate copyright, credit, and reuse notices appear prominently with the posted material. Examples of permitted uses are lecture materials, course packs, e-reserves, conference presentations, or in-house training courses.

8. **Electronic Preprints.** Before submitting an article to an IEEE publication, authors frequently post their manuscripts to their own web site, their employer's site, or to another server that invites constructive comment from colleagues. Upon submission of an article to IEEE, an author is required to transfer copyright in the article to IEEE, and the author must update any previously posted version of the article with a prominently displayed IEEE copyright notice. Upon publication of an article by the IEEE, the author must replace any previously posted electronic versions of the article with either (1) the full citation to the IEEE work with a Digital Object Identifier (DOI) or link to the article abstract in IEEE Xplore, or (2) the accepted version only (not the IEEE-published version), including the IEEE copyright notice and full citation, with a link to the final, published article in IEEE Xplore.

INFORMATION FOR AUTHORS

Author Responsibilities

The IEEE distributes its technical publications throughout the world and wants to ensure that the material submitted to its publications is properly available to the readership of those publications. Authors must ensure that their Work meets the requirements as stated in section 8.2.1 of the IEEE PSPB Operations Manual, including provisions covering originality, authorship, author responsibilities and author misconduct. More information on IEEE's publishing policies may be found at

http://www.ieee.org/publications_standards/publications/rights/authorrightsresponsibilities.html. Authors are advised especially of IEEE PSPB Operations Manual section 8.2.1.B12: "It is the responsibility of the authors, not the IEEE, to determine whether disclosure of their material requires the prior consent of other parties and, if so, to obtain it." Authors are also advised of IEEE PSPB Operations Manual section 8.1.1B: "Statements and opinions given in work published by the IEEE are the expression of the authors."

Author/Employer Rights

If you are employed and prepared the Work on a subject within the scope of your employment, the copyright in the Work belongs to your employer as a work-for-hire. In that case, the IEEE assumes that when you sign this Form, you are authorized to do so by your employer and that your employer has consented to the transfer of copyright, to the representation and warranty of publication rights, and to all other terms and conditions of this Form. If such authorization and consent has not been given to you, an authorized representative of your employer should sign this Form as the Author.

IEEE Copyright Ownership

It is the formal policy of the IEEE to own the copyrights to all copyrightable material in its technical publications and to the individual contributions contained therein, in order to protect the interests of the IEEE, its authors and their employers, and, at the same time, to facilitate the appropriate re-use of this material by others. The IEEE distributes its technical publications throughout the world and does so by various means such as hard copy, microfiche, microfilm, and electronic media. It also abstracts and may translate its publications, and articles contained therein, for inclusion in various compendiums, collective works, databases and similar publications.

THIS FORM MUST ACCOMPANY THE SUBMISSION OF THE AUTHOR'S MANUSCRIPT.

Questions about the submission of the form or manuscript must be sent to the publication's editor.

Please direct all questions about IEEE copyright policy to:

IEEE Intellectual Property Rights Office, copyrights@ieee.org, +1-732-562-3966 (telephone)

Anexo 10.8. Using IoT resources to enhance the accuracy of overdrain measurements in greenhouse horticulture

Using IoT resources to enhance the accuracy of overdrain measurements in greenhouse horticulture

Arys Carrasquilla-Batista & Alfonso Chacón-Rodríguez
Electronics Engineering
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
acarrasquilla@itcr.ac.cr, alchacon@itcr.ac.cr

Milton Solórzano-Quintana
Agricultural Engineering
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
msolorzano@itcr.ac.cr

Abstract— Climate change has already shown its negative impact that has on agriculture and food production, particularly because of rainfall deficit or excess, temperature changes and other associated environmental variations not amenable to sustainable agriculture. Greenhouse horticulture has proven to be an effective way of reducing the negative effects of climate change on vegetable production, but still represents a challenge for farmers, because the behavior of most plant species grown in protected environments is markedly different from open field cultivation. To increase the understanding of plant growth in protected crops, Internet of Things (IoT) capabilities were integrated into a greenhouse, thus providing a platform for researchers that allows them to take decisions at the right time about irrigation, moisture requirements and nutrients. The designed system consists of electronic circuitry, sensors, mobile communication, actuators and software running in the cloud. The functionality of the system was tested in a cucumber vegetable production in a greenhouse, where the data acquired from environmental variables, substrate conditions, overdrain measurements are sent over the Internet for their remote analysis by researchers. In the particular case of overdrain measurements, the traditional way of data gathering was enhanced by the introduction of drain gages and valves, and the application of an online Kalman filter to improve the accuracy of a low precision liquid flow meter. Preliminary results are encouraging and seem to point for continuing the development of efficient tools for decision taking about vegetable production in greenhouse horticulture.

Keywords—agriculture in protected environments, greenhouse, horticulture, Internet of Things, Kalman filters, measurement accuracy

I. INTRODUCTION

Climate change has been shown over and over to be already negatively impacting all human activities. A critic example is how agriculture and food production are affected by the excess or deficit of rainfall, changes in temperature and other associated environmental variations, which may be particularly severe in fragile tropical ecosystems. These events may constitute serious threats to food security in low and medium income economies located in these regions, such as Costa Rica's. The development of the following project aims at improving expertise in the production of vegetables in protected environments within an efficient, economically viable and environmentally responsible

way. Specifically, the production of food under conditions that may control or mitigate the adverse effects of climate change; such as is the case of protected environments best known as greenhouses. However, vegetable production in greenhouses represents a challenge for typical farmers because there the growing behavior of most vegetable species is markedly different than at open air, and usual culturing practices must be modified accordingly [1]. Thus, a research multidisciplinary group working on how to improve expertise in local producers not used to greenhouse horticulture approached the authors asking on how to improve their data recollection and decision management by integrating Internet of Things (IoT) into their scientific research in order to convert data into information, information in knowledge and this into wisdom to manage decision making at the right time for the producers [2]. The designed system presented here consists of hardware with commercial off the shelf (COTS) components (sensors, 3G communication shield and actuators) and software running on the cloud (for data acquisition and processing for monitoring and decision taking). System's performance has been tested in a controlled greenhouse, where acquired data from environmental variables (temperature, humidity and light), substrate moisture conditions and overdrain collection (pH, conductivity and quantity in milliliters) is sent over the Internet to be processed using data fusion techniques and expert based criteria. The Kalman filter, provides a recursive solution to a linear optimal filtering problem. It applies to stationary as well as nonstationary environments, and its result is recursive in that each updated estimate of the state is computed from the previous estimate and the new input data, so only the previous estimate requires storage [3]. In this work, the advantages of using a Kalman filter were introduced to enhance the accuracy of overdrain measurements [4]. The concrete aim was to study the effect of temperature increase on the quantity and quality of several vegetable varieties' production, in order to estimate the consequences of this phenomenon, while allowing progress in the identification of modeling and prediction tools and strategies that might help producers to mitigate the adverse effects of climate change. The main goal in the end is to provide scientifically tested alternative food production practices under the prevailing changing environmental conditions of our planet, including new guidelines for water saving and management.

This paper is organized as follows: Section II describes the problems regarding the impact of climate change in relation with greenhouse horticulture and some of the specific variables related to plant growth that are specifically affected. Section III presents the methodology and implementation of the data collecting unit, with particular emphasis given to the sensors used according to the problem at hand, and their integration to the acquisition and processing system. In section IV some results are given, related to a particular crop---cucumber---and the main variables associated to its growth: temperature, pH, relative humidity, conductivity and, particularly, liquid flow of overdrain. Here, a thorough discussion is given on how the overdrain measurement accuracy was increased by exploiting the IoT's capabilities of the system and the application of a typical data fusion technique: a Kalman filter. Finally, some conclusions and perspectives are given in Section IV.

II. PROBLEM DESCRIPTION

A. Climate change

The research project "Climate change effects on vegetable production in Costa Rica" has as main objective to evaluate climate change effects on vegetable production in greenhouses as a way to define new strategies to mitigate the impact of this phenomena. To fulfill this goal an electronic device was developed in order to measure environmental variables (ambient temperature, humidity and light intensity), as well as substrate moisture. It was also important to acquire drainage quantity in milliliters, pH and conductivity. This information was used to take decisions to minimize irrigation process frequency, required quantity of water, nutrients and fertilizers during the whole span of some of the crops that were studied.

B. Variables related to plant growth

As has been defined by the University of Arizona, the main environmental factors affecting plant growth are [1]: light, temperature, water humidity, relative humidity and nutrition.

Other factors (artificially-occurring) that are also involved in growth: Pesticide use, Soil pH, use of hormones and steroidal compounds.

In summary it states that the growth of plants can be modeled by the logistic growth function named by Verhulst and modeled as equation (1):

$$y = \frac{c}{1+ae^{-rx}} \quad (1)$$

Which has the form:

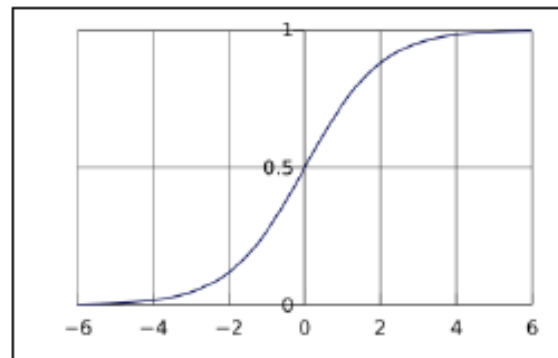


Fig. 1. Sigmoidal curve representing a typical model of plant growth, as named by Verhulst [1]

In the positive side of Figure 1 the first third is known as the exponential growth of the plant, then will start a saturation state and in the last third the growing process stops. This model is intensively used in biology, specifically in ecology.

There are non-minerals and minerals elements that can affect plant growth:

Non-minerals – the lack or shortage of just one of these elements can cause the plant to behave erratically and die from absence of nutrients.

- Hydrogen, is obtained from water and is also used in photosynthesis during the light-dependent reactions.
- Carbon dioxide, is used as a reactant for photosynthesis.
- Oxygen, plants use oxygen for cellular respiration as a way to break down sugar molecules, in this case glucose ($C_6H_{12}O_6$).

Minerals:

- **Macronutrients:** Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K)
- **Micronutrients,** elements essential for plant growth which are needed in only very small quantities: boron (B), copper (Cu), iron (Fe), chloride (Cl), manganese (Mn), molybdenum (Mo) and zinc (Zn).

III. METHODOLOGY AND IMPLEMENTATION

The methodological approach was to develop an electronic device with Internet access and able to measure and store the variables of interest automatically from a previously selected crop: cucumber. Researchers requested that the following environmental and local variables were tracked: ambient temperature and light intensity, substrate moisture, overdrain quantity in milliliters, pH and conductivity.

Table I shows the sensors used in measuring the requested variables.

TABLE I SENSORS TECHNICAL SPECIFICATIONS

Technical specifications		
Sensor	accuracy	range
Temperature (LM35 series)	$\pm 0.5^\circ\text{C}$ at 25°C	$-55^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}$
Relative Humidity (HIH-4000 series)	$\pm 0.5\%$	0% - 100% RH
Light (LS-BTA Vernier)	± 50 lux	0-150,000 lux
Soil moisture (EB-Moisture)	$\pm 0.5\%$	0% - 100% RH
pH (PH-BTA Vernier)	± 0.2 pH units	0-14 pH
Conductivity (Pure Atomist, nichrome wire 80, 32 AWG)	$\pm 2\%$	0.07 $\mu\text{S}/\text{cm}$ to 500,000+ $\mu\text{S}/\text{cm}$
Liquid flow meter (Adafruit ID:828)	$\pm 10\%$	1 - 30 Liters/Min

Of particular interest was the use of the liquid flow meter, since accurate overdrain measurements are critical for this type of crop in order to assure the adequate irrigation. This measurement is typically done by an assistant once a day, very early in the morning. But in tropical countries, even under protected environments such as greenhouses, environmental conditions suffer rapid variations that, even though not extreme, affect severely certain crops [4]. In this case, the liquid flow meter was intended to provide with a closer tracking of overdrain data. Yet, its accuracy is low ($\pm 10\%$) which motivated the filter used to improve its accuracy. In order to calculate frequency (Hz) should be consider 7.5 times Flow rate (L/min), the liquid flow meter generates 450 pulses per liter.

A. Manual measurement

Everyday, temperature and relative humidity were measured using a thermometer and hygrometer LCD weather station. This information was used as a data reference to compare against automatically acquired data from a cucumber plantation, starting in February 8th and ending in May 17th 100 samples for each variable were registered manually.

B. Overdrain collecting and measurement

Regarding overdrain collection, pH and conductivity measurements, they are typically collected also by hand by an assistant. As already explained, this data gives the information needed for researchers (and producers) to determine the irrigation periodicity. The implemented system automated data collection of these variables and placed it on the cloud for researchers for constant access (see subsection III-D ahead), but also showed that the overdrain measurement was not accurate

enough. This motivated the improvement of the measurements by using a simple data fusion technique, able to run on the system's microprocessor.

C. Improvement of overdrain measurements using a Kalman filter

As already explained, a liquid flow meter was added to the system, in order to make easier the overdrain measurement and expedite irrigation decisions. Yet, the 10% error in the used sensor was way behind the requested accuracy by the researcher. In order to improve automatic overdrain data collection, a Kalman filter running on the acquiring device was implemented [5] [6].

A Kalman filter finds the optimum averaging factor for each consequent state while using the memory of past states to adjust its estimation. There are three steps to solve Kalman filter:

1. Having a model both of the dynamic system and the sensor (especially regarding the noise associated) is mandatory. In our case, a simple model was created using equations (3) and (4), with a Gaussian noise model applied to the sensor (this meant a careful statistical modeling of the flow sensor under a controlled environment).
2. Start the process, predict and correct; equations (5) and (6) are used to determine required parameters and initial values.
3. Iterate through the estimates; the previous estimates will be the input for the current state.

Equations (2), (3) and (4) are required to calculate the filter's current estimation, where X_k : current estimation, K_k : Kalman gain, Z_k : measured value, X_{k-1} : previous estimation.

$$X_k = K_k * Z_k + (1 - K_k) * X_{k-1} \quad (2)$$

$$X_k = Ax_{k-1} + Bu_k + W_{k-1} \quad (3)$$

$$Z_k = Hx_k + v_k \quad (4)$$

Time Update (prediction) equations (5):

$$X_k = x_{k-1} \text{ and } P_k = P_{k-1} \quad (5)$$

- Project the state ahead

$$X_k = Ax_{k-1} + Bu_k$$

- Project the error covariance ahead

$$P_k = AP_{k-1}A^T + Q$$

The Measurement Update (correction) is given by:

$$K_k = \frac{P_k}{P_k + R} \quad (6)$$

Where R is noise in the environment or sensor

- Compute the Kalman Gain

$$K_k = P_k H^T (H P_k H^T + R)^{-1} \quad (7)$$

- Update the estimate via z_k

$$X_k = x_k + K_k (z_k - Hx_k) \quad (8)$$

- Update the error covariance

$$P_k = (1 - K_k H) P_k \quad (9)$$

- The outputs at k will be the input for $k+1$

Equation (3) is used to determine that each x_k (*current estimation*) may be evaluated by using a linear stochastic equation. Any x_k is a linear combination of its previous value plus a control signal u_k and a process noise. Most of the time, there is not a control signal u_k .

Equation (4) implies that any measurement value is a linear combination of the signal value and the measurement noise; both process and sensor noise are considered to be Gaussian, which in our case can be safely assumed due to the relative slow speed of the process being measured and estimated. The process noise and measurement noise are statistically independent.

A, B and H are time variant matrices that depict the dynamic model of the system. Considering that overdrain flow is extremely slow compared to the sampling used by the system (a 5 minute time step), that only one input variable is used, and that the data dynamic range is well bounded, these matrices are transformed into constants, as well as the measurement and estimation vectors and the covariance matrices. This makes the application more than suitable for a simple microprocessor with long integer precision.

Computation in the system's microprocessor were further simplified by using a constant value for the Kalman Gain obtained off line. This saves the extra computation time required by equation (7), and was considered as a safe choice considering again the extremely slow speed of the process.

Laboratory tests were used to calculate thus an optimal Kalman gain that assured a 1% accuracy, using calibrated water samples of 300 milliliters. As explained, the sensor noise was also statistically modeled under lab conditions (see table II).

TABLE II. ESTIMATED NOISE PARAMETERS OF THE FLOW SENSOR, STATISTICALLY MODELED UNDER LAB CONDITIONS.

Technical specifications		
Sensor	Average (milliliters)	Standard deviation
Liquid flow meter	302	1.243

As we know, in real life, no signal is pure Gaussian, but we may assume this with some approximation. A Kalman filter tries to converge into correct estimations, even if the Gaussian noise parameters are poorly estimated [3].

In short, then, the system acquires overdrain flow data, filters it using the embedded Kalman algorithm, and then sends this along with the data from the other measured variables over a GSM/GPRS network to an IoT platform, where captured values are represented graphically with a time stamp and a date. This remote database is connected to Internet, where researchers can perform various data analysis online.

D. Connection to the cloud

To allow for the require connectivity, a GSM/GPRS (Global system for mobile/General Packet Radio Service) was programmed to collect measured data and send it to an IoT

service provider. For this project the platform ThingSpeak was selected.

ThingSpeak is an open source IoT application and API (Application Programming Interface) to store and retrieve data from things using HTTP protocol over the Internet.

ThingSpeak enables the creation of sensor logging applications, location tracking, and a social network of things with status updates, and it has integrated support from the numerical computing software MATLAB from MathWorks.

With ThingSpeak users can analyze and visualize uploaded data using Matlab without requiring the purchase of a Matlab license from Mathworks. In Figure 2 there is an schematic representation of the complete developed system with IoT capabilities.

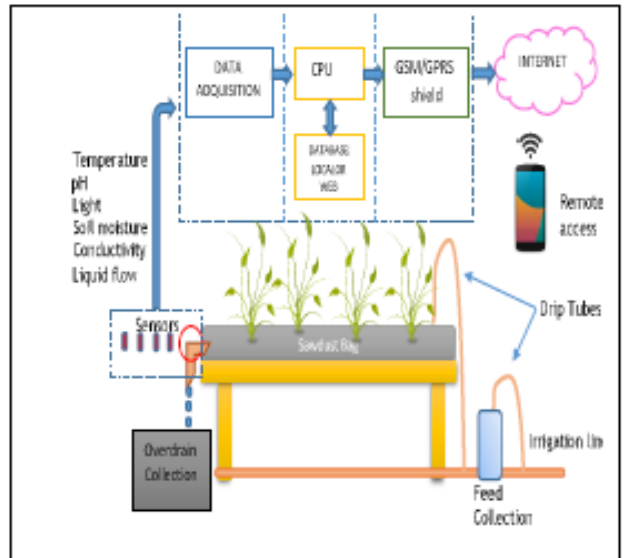


Fig. 2. Schematic representation for a greenhouse horticulture vegetable production using IoT capabilities

IV. RESULTS AND DISCUSSION

A. Measurements

Researchers can access ThingSpeak application using any device with Internet connection and a web browser. A user name and password is required to log in at the platform. More than 10,000 measurements with time stamp and date were registered during 4 months.

Figure 3 shows the training process of the Kalman filter done off-line. The obtained Kalman gain was integrated into the data acquisition system's implementation of the filter. Data shows hoy, only after ten measurements, flow data estimated data converges to 300.71, which represents a $\pm 1\%$ error considering the 300 milliliters calibration used. Is important to mention that the accuracy given in technical specification for the liquid flow meter was $\pm 10\%$. These results fulfill the objective of using an affordable sensor with its accuracy adjusted using mathematical approximation by Kalman Filter algorithm.

B. IoT and GSM/GPRS

ThingSpeak IoT platform was proved to be a stable and reliable interface for users. MATLAB analytics were used to view ambient variables tendencies along time. Figure 4 is a graphical representation of overdrain pH value, where data was automatically measured every five minutes and sent to the IoT platform every ten minutes.

Users can view graph tendency and have information about pH values with time stamp and date: see for instance the case for May 30th at 14:00 hours where the pH value was 6.97, as shown in Figure 4.

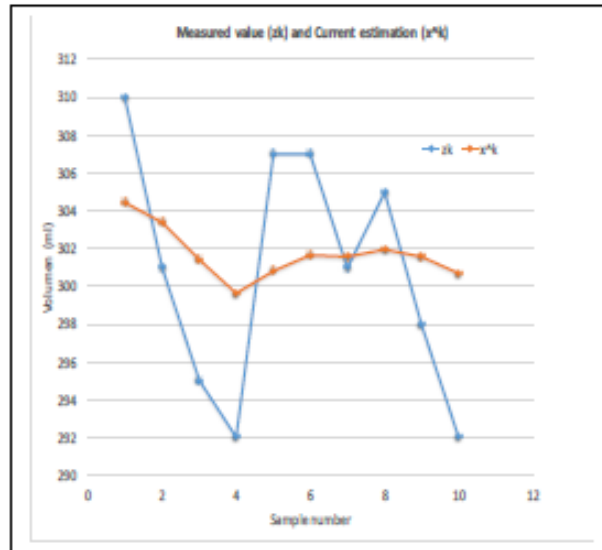


Fig. 3. Example of the convergence of the overdrain Kalman estimated data ($x(k)$) to the calibration sample. Noisy measured value ($z(k)$) is also shown.

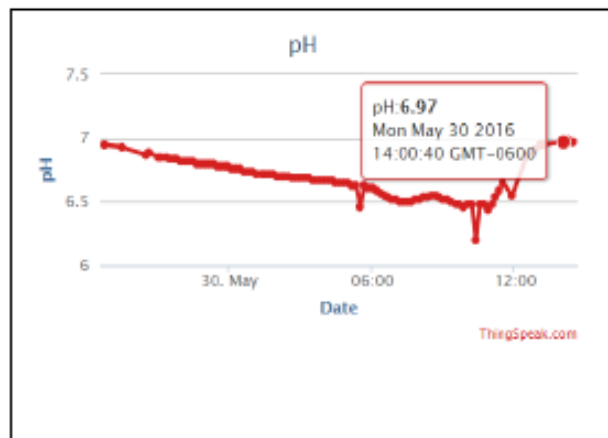


Fig. 4. An example of the overdrain pH values measured by the system as plotted by the Thingspeak platform. This measurement may be used to determine the nutritional status of the plant. pH measured value in IoT platform – Thingspeak [8]

V. CONCLUSIONS

In this paper we have proposed a hardware-software based framework to automatically enhance overdrain measurement accuracy in greenhouse horticulture using Internet of Things capabilities. The liquid flow meter technical specifications indicates an accuracy of 10%, which after processing with a basic Kalman Filter was reduced to a 1% error.

The access to IoT's analytic and graphing tools in order to apply them to growth related variables allows researchers to take wiser, fastest decisions. The use of intelligent IoT devices as the one proposed here also allows for cheaper measurement sensors, as they can be improved via data filtering and other techniques available either on the cloud or in the system itself. This makes systems based on IoT as the one proposed here an affordable tool for producers in tropical regions willing to secure their crops from climate change effects.

In the future, systems as the one presented in this paper can be used to generate models of crop growth, where secondary variables can be analyzed to anticipate the structural development of plants growing process, and maximize the production of vegetables while minimizing the use of water, nutrients and fertilizers.

ACKNOWLEDGMENT

We acknowledge the support of Ph.D. Ramón Molina-Bravo, and faculty members of Agricultural Engineering Program at ITCR, and researchers involved with CONARE project "Climate change effects on vegetable production in Costa Rica"

REFERENCES

- [1] S. Jakhete, "Modeling Plant Growth via the Usage of Functions: A Study of Implementations of Constants for Predicting Growth." Shantamu, 2013.
- [2] Evans, D., Internet of Things - How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. White paper Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), 2011.
- [3] Haykin, S. Kalman Filters, in Kalman Filtering and Neural Networks (ed S. Haykin), John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 2001. doi: 10.1002/0471221546.ch1
- [4] Salazar-Moreno, R., Mauricio-Pérez, A. M., López-Cruz, I. L., & Rojano-Aguilar, A. A model of humidity within a semi-closed greenhouse. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 22(1), 27-43, 2016.
- [5] M. Lee, J. Hwang and H. Yoe, "Agricultural Production System Based on IoT," IEEE 16th International Conference on Computational Science and Engineering, Sydney, NSW, 2013, pp. 833-837, 2013.
- [6] D. Kumar, S. Rajasegarar and M. Palaniswami, "Automatic Sensor Drift Detection and Correction Using Spatial Kriging and Kalman Filtering," IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, Cambridge, MA, 2013, pp. 183-190, 2013.
- [7] Y. C. Kim, Y. S. Ihn, H. R. Choi, S. M. Lee and J. C. Koo, "Implementation of force sensor with multi strain gauges for enhancing accuracy and precision," Mechatronics and Embedded Systems and Applications (MESA), IEEE/ASME International Conference on, Qingdao, ShanDong, 2010, pp. 192-195, 2010. doi: 10.1109/MESA.2010.5552076
- [8] ThingSpeak IoT platform, on line https://thingspeak.com/channels/108735/private_show, 2016.