



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ESCUELA DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ECOFISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE  
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L. 'Alba') EN UN AMBIENTE ENRIQUECIDO CON  
CO<sub>2</sub>.**

TUTORA:  
MERCEDES PÉREZ-MACIAS

BACHILLER:  
MIGUEL ALFONZO

MARACAY, NOVIEMBRE 2015.



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ESCUELA DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ECOFISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE  
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L. 'Alba') EN UN AMBIENTE ENRIQUECIDO CON  
CO<sub>2</sub>.**

TUTORA:  
MERCEDES PÉREZ-MACIAS

BACHILLER:  
MIGUEL ALFONZO

**Trabajo presentado como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero  
Agrónomo, mención Agronomía, que otorga la Universidad Central de Venezuela.**

MARACAY, NOVIEMBRE 2015.

## Resumen

El cambio climático representa una amenaza al logro de los objetivos del milenio propuestos por la ONU. Según La OMM (2014), los niveles de CO<sub>2</sub>, alcanzaron en abril de ese mismo año las 400 ppm y se espera que esta cifra se convierta en el promedio anual en los próximos 2 años. Este aumento en el CO<sub>2</sub> atmosférico pudiera traer una serie de consecuencias sobre los cultivos agrícolas; el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento ecofisiológico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), en un ambiente enriquecido con CO<sub>2</sub>; siendo esta hortaliza la segunda de mayor importancia para Venezuela (FEDEAGRO, 2013). En este trabajo se hizo crecer un grupo de plantas en un umbráculo donde se mantenían las concentraciones promedio de CO<sub>2</sub> a 423 ppm, otro grupo se hizo crecer en el mismo umbráculo pero sin inyección de CO<sub>2</sub> y el último en condiciones de campo abierto. Se midieron una serie de parámetros biométricos (altura, biomasa, volumen de la raíz, entre otras), fisiológicos (fotosíntesis, transpiración, conductancia estomática y eficiencia de uso de agua) y fenológicos (inicio y fin de cada fase). Los resultados mostraron un incremento significativo en la biomasa de las plantas tratadas con alto CO<sub>2</sub>, a los 60 ddt el incremento fue notorio en la parte subterránea (mayor longitud y volumen), mientras que a los 90 ddt se evidenció un mayor desarrollo en la biomasa aérea y radical, afectando la altura de las plantas, pero sin influir en el número de hojas. Así mismo la tasa fotosintética se vio aumentada significativamente como efecto de CO<sub>2</sub>, este aumento indujo valores superiores de eficiencia de uso de agua; la conductancia estomática y transpiración mostraron un incremento significativo en los tratamientos dentro del umbráculo, donde se registraron mayores temperaturas. Así mismo, las altas temperaturas ocasionaron un retraso en el ciclo fenológico del cultivo, sobre todo en las plantas con alto CO<sub>2</sub>, donde una mayor exposición a temperaturas superiores a 26 °C, afectó negativamente el llenado y maduración del fruto.

Palabras claves: Comportamiento ecofisiológico, tomate, alto CO<sub>2</sub>, cambio climático.

## Abstract

Climate change poses a threat to the achievement of the millennium goals models proposed by the UN. According to WMO (2014), CO<sub>2</sub> levels, reached in April of that same year, 400 ppm and this figure is expected to become the annual average over the next two years. This increase in atmospheric CO<sub>2</sub> could bring a number of consequences on agricultural crops; this study aimed to evaluate the ecophysiological behavior of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in a CO<sub>2</sub>-enriched atmosphere; this vegetable being the second most important for Venezuela (FEDEAGRO, 2013). This work grew a group of plants in a shade house where the average CO<sub>2</sub> concentrations were maintained at 423 ppm, another group was grown in the same shade house without CO<sub>2</sub> injection and the latest in open field conditions. A series of biometric parameters (height, biomass, root volume, etc.), physiological (photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and water use efficiency) and phenological (start and end of each phase) were measured. The results showed a significant increase in the biomass of plants treated with high CO<sub>2</sub>, at 60 ddt plants the increase was noticeable in the underground portion (greater length and volume), while the 90 ddt further development in biomass evidenced aerial and radical, affecting plant height, but without affecting the number of sheets. Likewise, the photosynthetic rate was significantly increased as a result of CO<sub>2</sub>, the higher values of induced increase water use efficiency; stomatal conductance and transpiration showed a significant increase in treatment within the shade house, where temperatures were recorded. Also, the high temperatures caused a delay in the phenological crop cycle, especially in plants with high CO<sub>2</sub> where, further exposure to temperatures above 26 ° C negatively affected the filling and ripening.

Keywords: ecophysiological behavior, tomato, high CO<sub>2</sub>, climate change

## Aprobación del Trabajo de Grado por el Jurado

Nosotros los abajo firmantes, miembros del jurado examinador del trabajo de grado titulado “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ECOFISIOLÓGICO DEL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L. ‘Alba’) EN UN AMBIENTE ENRIQUECIDO CON CO<sub>2</sub>.” Cuyo autor es el bachiller Miguel Alfonzo, titular de la cédula de identidad número: 20757687, certificamos que en nuestra opinión el trabajo reúne las condiciones requeridas para su presentación y cumple con las expectativas en alcance y calidad como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Dicha declaración la hacemos previa revisión del documento.

Tutora-Coordinadora

Jurado Principal

---

Mercedes Pérez-Macías

CI:

---

Marelia Puche

CI:

Jurado Principal

Jurado Suplente

---

Liliana Márquez

CI:

---

Víctor García

CI:

## **Dedicatoria**

El presente trabajo se lo dedico a mi abuela Eduarda Mendoza, quien en vida me brindó todo su amor y apoyo incondicional y ahora lo sigue haciendo pero esta vez desde cielo. A mi madre Elvia Navas y mi madrina Nidia Navas, por su apoyo irrestricto y su gran contribución a mi desempeño como estudiante, a ellas gracias por estar siempre para mí.

A mis hermanos: Michel Alfonzo, Merlyn Ochoa y Raúl Ochoa; a mis amigos: David Salas, Kevin Mendoza y Guillermo Bello; a mis primos: Emilis Navas, Miguel Navas, Elvimar Navas, Eduarda Navas, Marialejandra Navas; a mis pequeños sobrinos y ahijados (la alegría de la familia) y al resto de mis familiares y amigos; porque aun cuando me ausenté físicamente de muchas reuniones y acontecimientos importantes, por razones académicas, siempre mostraron su mayor comprensión, y brindaron su apoyo.

A mis compañeros de estudio y amigos: Gabriel Campos, Sebastian Raimond, Nancy Omaña, Karion Muñoz, Mauro Herrera, Orlando Mirabal, Careliz Moreno, Patrick Mansilla, Francisco Da Silva, Glagervic Regalado, Rodolfo Trujillo, Robert Torres, Marbelys Carrillo, Yoskarly Carreño, Jesvic Hernandez, Jessica de Freitas, Julio Reyes, Manuel Hoyos, Manuel Vega, María Abello y Víctor Monasterio; porque más que consolidarnos como grupo de estudio, en estos siete años de carrera compartimos un montón de momentos buenos y malos que nos compenetró aún más, convirtiéndonos en una familia, una familia de Chigüires (*Hydrochaerys hydrochaeris*); nunca podré olvidar que incluso compartimos nuestras vacaciones juntos, son ustedes lo que más extrañaré de la vida como estudiante universitario, espero conservarlos en mi vida.

A la gran familia de Climatología Agrícola: Naghely Mendoza, Víctor García, Gennady Bracho, Marelia Puche, Pablo D'enjoy, Yessica Márquez y demás preparadores y pasantes; por haberme enseñado con su ejemplo el significado de trabajo en equipo, además de brindarme su valioso apoyo y contribución en mi formación académica y humana.

## **Agradecimientos**

A todo el personal que labora en el laboratorio de microclimatología y fisiología vegetal del INIA, en especial a mi tutora Mercedes Pérez-Macías y a la técnico Maribel Valdez, quienes siempre mostraron su apoyo y trabajaron a mi lado para llevar a feliz término el presente trabajo de investigación.

Al jurado evaluador: Marelía Puche, Liliana Márquez y Víctor García, quienes siempre estuvieron prestos a brindar su opinión y valiosas sugerencias, con el fin de realizar mejoras.

A la profesora Naghely Mendoza, por el constante seguimiento y aportes hechos, desde que se comenzó a realizar el trabajo.

A la profesora Mayela Parra, por su valioso apoyo en el análisis estadístico de los datos obtenidos durante el ensayo.

A mis Compañeros Sebastian Raimond, Mauro Herrera y Manuel Vega por estar atentos al desarrollo del ensayo, así como apoyarme a la hora de realizar labores de campo.

A mis profesores: Aída Ortiz, Carmen Basso, Maritza Romero, Xiomara Abreu, Mayela Parra, Rosaura Istúriz, Quintina Correa, Yasmin Gudiño, Daniel Vargas, Oscar Silva, Omar Nuñez, Luis Díaz, Juan Carlos Rey, Humberto Araque, Mercedes Pérez-Macías, Lorena Guevara, Vilma Savini, Martha Barrios, Petra Madriz, y el resto del personal docente que tuve la dicha de conocer, quienes además de ser unos excelentes profesionales que imparten la mejor educación, a pesar de las condiciones adversas, siempre estuvieron prestos a colaborar y apoyar el proceso de formación académica más allá de un salón de clases.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                           |      |
|-------------------------------------------|------|
| <b>Portada</b>                            | i    |
| <b>Página de título</b>                   | ii   |
| <b>Resumen</b>                            | iii  |
| <b>Abstract</b>                           | iv   |
| <b>Aprobación del jurado</b>              | v    |
| <b>Dedicatoria</b>                        | vi   |
| <b>Agradecimientos</b>                    | vii  |
| <b>Tabla de contenido</b>                 | viii |
| <b>Índice de Figuras</b>                  | x    |
| <b>Índice de Cuadros</b>                  | xi   |
| <b>Índice de Anexos</b>                   | xi   |
| <br>                                      |      |
| <b>CAPITULO I: EL PROBLEMA</b>            | 1    |
| 1.1 Planteamiento del problema            | 1    |
| 1.2 Objetivos de la investigación         | 3    |
| 1.3 Justificación                         | 4    |
| <br>                                      |      |
| <b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>         | 5    |
| 2.1 Antecedentes de la investigación      | 5    |
| <br>                                      |      |
| <b>CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS</b> | 9    |
| 3.1 Caracterización de la zona            |      |
| 3.2 Diseño experimental                   | 9    |
| 3.3 Análisis y control de CO <sub>2</sub> | 10   |

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 3.4 Manejo de la Plantación                | 10 |
| 3.5 Variables y análisis de datos          | 12 |
| 3.6 Análisis estadístico                   | 15 |
| <b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> | 16 |
| 4.1 Variables microclimáticas              | 16 |
| 4.2 Crecimiento y desarrollo del cultivo   | 25 |
| a) Comportamiento Fenológico               | 25 |
| b) Comportamiento del cultivo 30 ddt       | 33 |
| c) Comportamiento del cultivo 60 ddt       | 35 |
| d) Comportamiento del cultivo 90 ddt       | 40 |
| 4.3 Comportamiento Ecofisiológico          | 44 |
| 4.4 Análisis de Componentes principales    | 48 |
| <b>Conclusiones</b>                        | 51 |
| <b>Recomendaciones</b>                     | 52 |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>          | 53 |
| <b>Anexos</b>                              | 56 |

## Índice de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Plantas en semilleros y trasplantadas a campo y a la cámara con CO <sub>2</sub> .                                                                                                                                                                | 11 |
| Figura 2: Extracción de plantas y lavado de raíces                                                                                                                                                                                                         | 14 |
| Figura 3: Mediciones de Pn, E y C.                                                                                                                                                                                                                         | 15 |
| Figura 4: Comportamiento promedio semanal de Temperatura y humedad relativa                                                                                                                                                                                | 16 |
| Figura 5: Comportamiento semanal de la presión de vapor instantánea y de saturación                                                                                                                                                                        | 17 |
| Figura 6: comportamiento promedio semanal de las concentraciones de CO <sub>2</sub> .                                                                                                                                                                      | 18 |
| Figura 7: Comparación entre ETC y riego suministrado.                                                                                                                                                                                                      | 20 |
| Figura 8: comportamiento fenológico del cultivo                                                                                                                                                                                                            | 26 |
| Figura 9: comportamiento promedio semanal de la altura de las plantas (cm)                                                                                                                                                                                 | 29 |
| Figura 10: comportamiento promedio semanal del número de hojas                                                                                                                                                                                             | 30 |
| Figura 11: comportamiento promedio semanal del número de frutos                                                                                                                                                                                            | 31 |
| Figura 12: comportamiento promedio semanal del número de flores abiertas                                                                                                                                                                                   | 31 |
| Figura 13: Comportamiento de las variables altura , área foliar, peso seco de la parte aérea vegetativa y peso seco de la raíz de las plantas 30ddt.                                                                                                       | 33 |
| Figura 14: comportamiento promedio de las variables: peso fresco de la raíz, longitud de la raíz, volumen de la raíz y peso seco de la raíz. 60 ddt                                                                                                        | 35 |
| Figura 15: comportamiento de las variables: Número de hojas, Altura de la planta, área Foliar y peso fresco de la parte aérea vegetativa; 60 ddt.                                                                                                          | 37 |
| Figura 16: comportamiento de las variables: Peso fresco y seco de las flores, peso fresco y seco de frutos; 60 ddt.                                                                                                                                        | 38 |
| Figura 17: comportamiento de las variables: peso fresco de la raíz, longitud de la raíz, volumen de la raíz y peso seco de la raíz. 90 ddt.                                                                                                                | 40 |
| Figura 18: comportamiento de las variables: Peso seco de la parte aérea vegetativa, Altura de la planta, área Foliar y peso fresco de la parte aérea vegetativa; 90 ddt.                                                                                   | 41 |
| Figura 19: comportamiento de las variables: Peso fresco y seco de las flores, peso fresco y seco de frutos; 90 ddt.                                                                                                                                        | 43 |
| Figura 20: Promedios de la tasa fotosintética (Pn; $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), transpiración (E; $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), conductancia estomática (C; $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) y eficiencia de uso de agua (EUA). | 44 |
| Figura 21: Comportamiento promedio semanal de la tasa fotosintética durante las semanas de realización del ensayo.                                                                                                                                         | 45 |
| Figura 22: Comportamiento horario de la fotosíntesis.                                                                                                                                                                                                      | 47 |
| Figura 23: Contenido de clorofila de las plantas en los diferentes tratamientos.                                                                                                                                                                           | 48 |

## **Índice de Cuadros**

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1: Comportamiento histórico promedio de las variables climáticas.                      | 9  |
| Cuadro 2: Criterios para definir las fases fenológicas del cultivo.                           | 13 |
| Cuadro 3: Frecuencia de duración (en horas) con temperaturas superiores a 26 °C               | 21 |
| Cuadro 4: Frecuencia de duración (en horas) con temperaturas superiores a 30 °C               | 22 |
| Cuadro 5: Frecuencia de duración (en horas) con temperaturas superiores a 32 °C               | 23 |
| Cuadro 6: Resumen del comportamiento fenológico del cultivo.                                  | 28 |
| Cuadro 7: Matriz de coeficientes de correlación entre las variables y componentes principales | 48 |

## **Índice de Anexos**

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo 1: Cuadro resumen del comportamiento promedio semanal de las variables microclimáticas.                                                  | 57 |
| Anexo 2: Frecuencias de exposición (en horas) a temperaturas críticas (26 °C, 30°C y 32°C)                                                     | 58 |
| Anexo 3: promedios por tratamientos para las variables peso fresco de la raíz, longitud de la raíz, volumen de la raíz y peso seco de la raíz. | 62 |
| Anexo 4: Cuadro resumen de diferencias (en %) de las variables evaluadas con respecto a TCO <sub>2</sub> a los 60 ddt.                         | 63 |
| Anexo 5: Cuadro resumen de diferencias (en %) de las variables evaluadas con respecto a TCO <sub>2</sub> a los 90 ddt.                         | 63 |
| Anexo 6: Coeficientes de correlación entre las variables.                                                                                      | 64 |
| Anexo 7: Variabilidad Explicada por cada componente principal.                                                                                 | 65 |
| Anexo 8: Comportamiento horario promedio para el ciclo de la temperatura                                                                       | 65 |
| Anexo 9: fechas de inicio y fin de las semanas que duró el experimento                                                                         | 66 |



## **CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.**

### **1.1.Planteamiento del problema**

Es evidente que el cambio climático representa una amenaza para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) propuestos por la Organización de las Naciones Unidas especialmente para aquellos relacionados con la disminución de la pobreza extrema y el hambre. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2009), en los últimos 50 años la población mundial se ha más que duplicado, pasando de 3.000 millones de personas en 1959, a 6.700 millones en 2009, y se espera que en los próximos 40 años se incremente otro 50% para un total de 9.100 millones de personas. Este crecimiento poblacional genera una enorme presión sobre los sistemas de producción agrícola aumentando la demanda de alimentos a nivel mundial (FAO, 2009).

Unos 1.020 millones de personas no satisfacen sus requerimientos de alimentación diarios en el mundo, el 75% vive en zonas rurales donde la agricultura es la principal fuente de ingresos (FAO, 2009), lo cual convierte a esta población en la más vulnerables ante los efectos del cambio climático, y podría agravar aún más los problemas de pobreza y hambruna.

Las actividades humanas han producido grandes emisiones de gases de efecto invernadero, entre ellos el más importante es el dióxido de carbono, responsable de cerca del 55 % de este efecto (Sánchez *et al*; 2000). Dichas emisiones alteran la distribución de energía en la atmósfera, cuando la radiación de onda larga emitida por la tierra es absorbida por los gases de efecto invernadero, esta retención de energía podría tener como consecuencia un incremento en las temperaturas atmosféricas globales. Venezuela genera cerca del 0,48% de las emisiones de CO<sub>2</sub> del planeta con 31.131 Gg de C (Gigagramos de carbono, que equivalen a 114.147 Gg de CO<sub>2</sub>), lo cual coloca a nuestro país en el cuarto país con mayores emisiones de CO<sub>2</sub> en América Latina (MARN-PNUD-GEF, 2005). El aumento en las concentraciones de CO<sub>2</sub> por actividades antropogénicas, es probablemente uno de los principales impulsores del cambio climático, ya que por sus características provoca un forzamiento radiativo positivo (más energía recibida que emitida), al interceptar la

radiación infrarroja emitida por la tierra, causando un eventual aumento en la temperatura del aire (IPCC,2013).

Según las estadísticas de la Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO, 2014), después de la cebolla, el tomate fue la segunda hortaliza de mayor producción en Venezuela en el año 2013 con 324.509 toneladas, con rendimientos promedio de 24.764 Kg/ha. Además el tomate es la primera hortaliza que se consume a nivel nacional, según el Instituto Nacional de Estadísticas (2011), para el primer semestre del año 2011 el consumo per cápita de tomate fue de 26,24 g/día. Respuestas desfavorables en los niveles productivos de esta especie podrían tener consecuencias negativas sobre la economía nacional. El tomate está bien adaptado a las condiciones ambientales de Venezuela, sin embargo, según el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA, 2005), temperaturas superiores a 32°C, produce caídas de flores debido a un alargamiento del pistilo que impide la fecundación del estigma. Por otra parte, el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> tienen efectos muy marcados sobre la tasa fotosintética, sobre todo en las plantas C3, al disminuir la fotorrespiración por un aumento proporcional en la reacción de CO<sub>2</sub> con la ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa oxigenasa (RUBISCO), con respecto al O<sub>2</sub> (Salisbury y Ross, 1994). Ante la incertidumbre que genera el cambio climático en este cultivo resulta de vital importancia generar conocimientos para estimar el comportamiento de estas plantas, frente a los futuros escenarios del cambio climático, para orientar los esfuerzos en mejoramiento genético y nuevas técnicas de manejo que permita mantener o incrementar los niveles productivos en este rubro.

Ahora bien, ¿qué efecto tendrá elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> sobre la ecofisiología del tomate (*Solanum lycopersicum* L.)? y ¿qué efectos tendrán sobre los niveles productivos? Las respuestas a estas interrogantes dependerán de los cambios que se observen en el clima futuro y dichos cambios son aún inciertos, sin embargo, es posible evaluar sus consecuencias sobre los cultivos al generar condiciones microclimáticas controladas a partir de posibles escenarios futuros de cambio climático.

## **1.2.Objetivos de la investigación**

### **Objetivo General**

Evaluar el comportamiento ecofisiológico del tomate (*Solanum lycopersicum* L. ‘Alba’) en un ambiente enriquecido con CO<sub>2</sub>, durante un ciclo del cultivo.

### **Objetivos Específicos**

- 1) Caracterizar el comportamiento de la temperatura, humedad relativa y presión de vapor del aire en condiciones con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> y en condiciones base.
- 2) Caracterizar el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en un ambiente enriquecido con 426 ppm de CO<sub>2</sub> y en condiciones base.
- 3) Evaluar el comportamiento ecofisiológico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en un ambiente enriquecido con 426 ppm de CO<sub>2</sub> y en condiciones base.

### **1.3. Justificación**

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2014 a), en abril del 2014 se registraron concentraciones históricas de CO<sub>2</sub>, superiores al umbral simbólico de 400 ppm, todas las estaciones de vigilancia del hemisferio norte (donde se encuentra nuestro país) registraron máximos históricos, sin embargo, esta organización espera que para el año 2015 o 2016 los promedios anuales mundiales de concentraciones de CO<sub>2</sub>, superen este umbral. Este acelerado aumento en las concentraciones de CO<sub>2</sub>, puede tener serias consecuencias sobre el clima del planeta, que según la primera comunicación Nacional de Cambio Climático en Venezuela (MARN-PNUD-GEF, 2005), se espera un aumento de la temperatura entre 1,4 y 5,8 °C, en los próximos 100 años, lo cual tendría graves consecuencias sobre los cultivos, ecosistemas naturales y el incremento del nivel del mar. A pesar de lo alarmante de esta situación, en Venezuela la investigación científica en el área del cambio climático es bastante reducida y se requiere incrementar el conocimiento para desarrollar planes nacionales que eviten y/o disminuyan los efectos negativos económicos, ecológicos y sociales que el cambio climático pudiera generar sobre nuestro país.

El tomate representa la hortaliza de mayor importancia en Venezuela. La mayor producción de este rubro se encuentra localizada en los estados Aragua, Carabobo, Guárico, Lara, Monagas, Portuguesa y Zulia. (INIA, 2005). Estudiar cómo será el comportamiento del cultivo en un escenario posible con altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, dará paso a nuevos estudios para evaluar estrategias que permitan mantener o aumentar la producción de este importante rubro hortícola en el país.

Este trabajo representa una contribución para la investigación de los efectos e implicaciones del cambio climático sobre la agricultura nacional y por ende de la seguridad alimentaria de Venezuela.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

El crecimiento de los cultivos está determinado por un conjunto de factores ambientales y biológicos. Entre los factores ambientales tenemos en primer lugar, la cantidad de radiación solar que puede interceptar y usar durante el ciclo. Un exceso de radiación raramente es un problema, siempre que estén disponibles agua y nutrientes. Para obtener rendimientos altos las hojas deberán crecer y cubrir la superficie del suelo tan pronto como sea posible después de la siembra. Si este proceso se demora, la radiación solar se pierde en forma de calor incorporado al suelo desnudo, evaporando la humedad del suelo. La radiación solar es especialmente importante para el rendimiento, ya que representa la fuente de energía para fotosintetizar (Delatorre, 2000).

Según Leskovar (2001), la enzima de fijación de  $\text{CO}_2$  es RuBisCO. Su actividad depende de la relación de concentración de  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$ . Al aumentar el  $\text{CO}_2$  en el ambiente, aumenta la carboxilación de Rubisco. El mismo autor señala que duplicando la concentración de  $\text{CO}_2$  de 330 a 660 ppm, los rendimientos deberían aumentar hasta un 33%. Agrega que, la concentración óptima en los invernaderos es entre 700 y 900 ppm, quedando demostrado con experiencias con tomate en Canadá que indican que el enriquecimiento con  $\text{CO}_2$  produjo trasplantes con mayor peso (81% comparado con el control), con un aumento del peso específico de la hoja, sin afectar la altura de la planta. Aparentemente el incremento de  $\text{CO}_2$  puede aumentar la translocación de sacarosa hacia las raíces, facilitando la movilización de N y componentes de C, y así promover el desarrollo de primordios radiculares. Varias experiencias en el mismo cultivo, indican un aumento de la fotosíntesis y reducción de un 20-40% en la transpiración, aumentando así la eficiencia del uso de agua (Leskovar, 2000).

La OMM (2014 b), en su Boletín Anual Sobre los Gases de Efecto Invernadero, cuyo objeto es comunicar a la comunidad científica sobre el comportamiento, año a año, de las concentraciones de  $\text{CO}_2$ , señala que durante los últimos 10 años, la cantidad de  $\text{CO}_2$

presente en la atmósfera ha experimentado en promedio un aumento de 2 partes por millón por año, sin embargo, en los años 2012 y 2013 los niveles de CO<sub>2</sub>, aumentaron más que ningún otro año desde 1984; en el 2012 las concentraciones promedio era de 393 ppm.

En este sentido el IPCC (2007), propone cuatro familias de escenarios de emisión de gases de efecto invernadero que están estrechamente relacionados con el crecimiento demográfico, económico y tecnológico de la humanidad. En primer lugar tenemos la familia A1 que presupone un crecimiento económico mundial muy rápido, un máximo de la población mundial hacia mediados de siglo, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Se divide en tres grupos, que reflejan tres direcciones alternativas de cambio tecnológico: intensiva en combustibles fósiles (A1FI), energías de origen no fósil (A1T), y equilibrio entre las distintas fuentes (A1B). La B1 describe un mundo convergente, con la misma población mundial que A1, pero con una evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información. La familia B2 describe un planeta con una población intermedia y un crecimiento económico intermedio, más orientada a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Y por último tenemos la A2 que describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico lento, y cambio tecnológico lento.

La temperatura afecta los procesos biológicos de dos formas sustancialmente antagónicas: la primera de ellas es que a medida que se eleva la temperatura se incrementan la velocidad de movimiento de las moléculas (traslación, rotación y vibración) provocando un aumento en la intensidad de los procesos. La segunda, consiste en que todos los procesos biológicos están regulados por enzimas y la actividad de estas depende de la estructura espacial (conformación tridimensional de la biomolécula), que se pierde cuando la temperatura se aleja por encima de la óptima (Rodríguez, 2013).

Las plantas controlan su temperatura mediante la transpiración, disipando hasta un 50% de la energía que absorbe (Leskovar, 2001). El tomate es capaz de adaptarse a condiciones ambientales variables, sin embargo, se ha comprobado que temperaturas por debajo de 10°C o por encima de 30 °C, detienen el crecimiento de la planta. Esta disminución del

crecimiento viene acompañada de aborto de flores, debido a que las altas temperaturas inducen un alargamiento de pistilo e impiden la fecundación (Hidalgo y Gonzáles, 2005). Esta información coincide con la reportada por Rodríguez (2013) para la actividad fotosintética de las hojas (hasta 30°C, para una óptima actividad fotosintética), sin embargo, este autor agrega que para el desarrollo y maduración del fruto la temperatura base es de 5,7°C y la temperatura máxima es de 26 °C; en este sentido reporta que cuando las temperaturas se encuentran entre 26 y 32 °C la producción es de tan solo 10 % de lo que se produciría a temperaturas óptimas entre 22-26°C. En otras palabras seis grados por encima de la temperatura óptima redujeron los rendimientos en 90%. Este mismo autor señala que alguna de las posibles respuestas del tomate ante un estrés térmico son: aumentar la transpiración (como mecanismo de disipación de calor) y la floración temprana (como mecanismo de escape), esto en algunos genotipos con distintos grados de tolerancia al estrés térmico.

Las etapas fenológicas descritas para el tomate según, Pérez *et. al.* (2001), comprende una etapa inicial: desde la germinación hasta los 25 días, seguida de una etapa de desarrollo vegetativo: que va desde los 25 días de vida hasta los 50 días y se caracteriza por demandar mayor cantidad de nutrientes para la formación de tallos y hojas, la etapa de floración arranca a los 51 días y dura hasta los 75 días cuando se ve interrumpida por el proceso de fructificación, la primera cosecha ocurre a los 90 días pudiéndose extender a los 133 días o más dependiendo del manejo.

Restrepo *et al* (2008), el evaluaron el inicio de la floración en varios cultivares de tomate y definieron el inicio de la misma con la aparición de estructuras florales visibles, los resultados mostraron que las accesiones evaluadas no mostraron diferencias en el inicio de la floración. Mientras que, Josafad, *et al* (1998), evaluaron el inicio de la etapa de cosecha en varios cultivares, definiéndola por la aparición de frutos que mostraban síntomas visibles de madurez fisiológica, este autor encontró diferencias significativas entre los genotipos.

En otro orden de ideas, Sánchez *et al*, (2000) realizaron un estudio cuyo objetivo fue evaluar el efecto del enriquecimiento del aire con CO<sub>2</sub>, durante el desarrollo de los cultivos

de Maíz (*Zea mays* L.) y Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); los resultados obtenidos reflejaron que para el área foliar en el caso del frijol, se incrementó de manera importante en el ambiente enriquecido con 600 ppm, mientras que para el maíz se mantuvo sin diferencias significativas; La densidad estomática disminuyó en las plantas de frijol sometidas a ambiente con altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, mientras que en las plantas de maíz, al igual que la variable anterior no reflejaron variación. Las altas concentraciones de carbono atmosférico promovieron una mayor acumulación de biomasa en las plantas de frijol y mayores rendimientos, esto por mayor número de estructuras (hojas y ramas) y no por mayor ganancia de peso. Esto se evidenció al comparar los pesos y número de los órganos de las plantas. En maíz solo se observó un incremento de la biomasa en las primeras etapas vegetativas sobre todo en la parte radical. La tasa fotosintética se vio incrementada con las altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, igual comportamiento se obtuvo en la eficiencia de uso de agua para ambos cultivos. Las diferencias entre ambos cultivo se debe a que el frijol es una planta C3 por tanto solo posee una enzima encargada de la fotosíntesis (RuBisCO), la cual es afín al CO<sub>2</sub> y al O<sub>2</sub>, esto hace a estas plantas más sensibles a las concentraciones ambientales de CO<sub>2</sub>, al compararlas con plantas C4 como el maíz que además de la RuBisCO posee la PEP- Carboxilasa, la cual es únicamente afín al CO<sub>2</sub>, esto las hace mucho más eficientes en la captura de este gas, haciéndolas menos sensibles a las concentraciones ambientales de CO<sub>2</sub> (Sánchez *et al.*;2000).

En Venezuela, es realmente poca la información que se tiene sobre el comportamiento de los cultivos ante un escenario de incremento de CO<sub>2</sub>, sin embargo, Herrera *et al.*; 2001, evaluó el comportamiento fotosintético de especies de plantas xerofitas en ambientes con CO<sub>2</sub> elevado. Para realizar los experimentos se procedió a cultivar plantas de *Ipomoea carnea* (C3), *Jatropha gossypifolia* (C3), *Alternanthera crucis* (C3-C4) y *Talinum triangulare* (CAM inducible) en cámaras abiertas. En una primera parcela se cultivaron en una cámara a 350 ppm de CO<sub>2</sub>, en una segunda parcela la concentración de CO<sub>2</sub> se elevó a 510 ppm y se estableció una parcela de control sin cámara. Los resultados obtenidos señalaron que la tasa fotosintética máxima (Amáx.) se incrementó aproximadamente 3,5 veces más en las primeras semanas del cultivo por las altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, disminuyendo después de algunas semanas.

### CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 3.1. Caracterización de la zona:

El ensayo se realizó en los terrenos adscritos al laboratorio de microclimatología y fisiología vegetal del INIA, Maracay, estado Aragua, donde el comportamiento promedio de los elementos climáticos de la localidad durante los meses de realización del ensayo (marzo, abril, mayo, junio y julio) se describe en el cuadro 1.

Cuadro 1: comportamiento promedio de la Radiación global, temperatura, humedad relativa, precipitación y evapotranspiración durante los meses de realización del ensayo (Fuente: Usiclíma, 2012).

| Elemento climático                                    | Período de registro | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | ANUAL  |
|-------------------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Radiación global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) | 1972-1995           | 19,2  | 17,4  | 16,2  | 16,7  | 17,2  | 17     |
| Temperatura Mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )             | 1970-2000           | 17,0  | 19,2  | 20,2  | 19,7  | 19,1  | 18,1   |
| Temperatura Media ( $^{\circ}\text{C}$ )              | 1970-2000           | 25,3  | 26,2  | 26,2  | 25,5  | 25,0  | 25     |
| Temperatura Máxima ( $^{\circ}\text{C}$ )             | 1970-2000           | 33,6  | 33,2  | 32,1  | 31,3  | 31,0  | 31,9   |
| Humedad Relativa Media(%)                             | 1970-2000           | 58    | 60    | 67    | 69    | 70    | 66     |
| Precipitación (mm)                                    | 1970-2000           | 15,4  | 64,8  | 102,8 | 104,4 | 149,0 | 930,8  |
| Evapotranspiración de referencia (mm)                 |                     | 134,4 | 123,2 | 112,0 | 112,0 | 112,0 | 1375,6 |

Parte del experimento se realizó en un umbráculo de nueve metros de largo por tres de ancho, el cual estuvo cubierto por plástico con aberturas que permitieron el intercambio gaseoso con el exterior.

La investigación es de tipo descriptiva y comparativa. El experimento se llevó a cabo según las siguientes especificaciones:

#### 3.2. Diseño Experimental:

El diseño utilizado fue en bloques al azar con ocho repeticiones, una planta por repetición, lo cual permite otorgarle un grado de libertad aceptable al error experimental (mayor a 12), dando mayor confiabilidad al experimento y permitiendo mayor precisión en el análisis

(mayor posibilidad de rechazar la hipótesis nula). El experimento constó de tres tratamientos que se detallan a continuación:

**TEXT:** testigo exterior. En esta parcela se colocaron 40 plantas que crecieron en el exterior del umbráculo, en condiciones atmosféricas base de 410 ppm de CO<sub>2</sub>.

**TINT:** Testigo interior. Estas 40 plantas se hicieron crecer en condiciones de umbráculo con atmósfera base de 410 ppm de CO<sub>2</sub>.

**TCO<sub>2</sub>:** Enriquecida con CO<sub>2</sub>. 40 plantas se hicieron crecer en un umbráculo enriquecido con concentraciones de CO<sub>2</sub> de 426 ppm que corresponde a la concentración estimada para el año 2030. Dicha concentración fue proyectada haciendo uso del modelo Magicc, para el escenario de emisión B2, que según lo establecido por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, (IPCC, 2007) corresponde a un escenario plausible, donde el crecimiento de la población es intermedio, al igual que el crecimiento económico, enfoques orientados a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medio ambiental.

### **3.3. Análisis y Control del CO<sub>2</sub>:**

La concentración de CO<sub>2</sub> dentro del umbráculo, se logró, mediante un analizador de gases infrarrojo WMA (PPSystems, Hitchin, R.U.) que mantuvo un monitoreo constante de las concentraciones del gas establecidos. Cuando las concentraciones estaban por debajo de la concentración establecida (401 ppm) el mecanismo accionaba la inyección de CO<sub>2</sub> hasta alcanzar el límite superior establecido (451 ppm), esto con el fin de mantener las concentraciones promedios de CO<sub>2</sub> en 426 ppm.

### **3.4. Manejo de la plantación:**

El material utilizado es la variedad Alba. La fecha de siembra fue el 19 de febrero, las especificaciones de las fechas y las semanas de desarrollo del cultivo se muestran en el anexo 9.

Las semillas se sembraron en bandejas de germinación con turba humedecida, en las condiciones ambientales regulares (ver figura 1a y 1b), pasados 30 días, se trasplantaron a bolsas plásticas de 7 kg en las condiciones ambientales según el tratamiento, se colocaron a una separación entre plantas de 0,25 m, y 0,6 m entre hilera (figura 1c y 1d).



Figura 1: Plantas en semilleros germinadas (a y b); plantas de tomate trasplantadas a campo (c) y a la cámara con CO<sub>2</sub>(d).

El tutorado se realizó mediante estacas y la fertilización se hizo con 0,5 g por planta de 15-15-15 NPK 40 ddt ; 0,4 g/planta 60 ddt), esto según recomendaciones de Betancourt y Pierre (2013).

El control de malezas se realizó de manera manual y el control de insectos plaga se realizó con extracto de Neem, para lo cual se colocó 700 g de material vegetal en un galón de agua y se dejó fermentar por tres días, transcurrido ese tiempo se procedió a aplicar con ácido húmico como fertilizante foliar (EcoPur-S), además de la colocación de platos amarillos con pegamento. En evaluaciones hechas a los 75 Ddt se observó gran cantidad de mosca blanca (*Bemisia tabaci*), estas poblaciones causaban daños importantes en la plantación trayendo como consecuencia la muerte de individuos, por ello se aplicó una solución de Lannate SC (metomilo) y agua, a una concentración de 1 ppm.

Para evitar déficit hídrico se regaron las plantas con medio litro de agua por planta (500 cc/planta), esto luego de calcular a partir de la Eto reportada para la ciudad de Maracay y los valores de Kc estimados por Rodríguez y Pire (2008), los requerimientos hídricos del cultivo, llegando a ser en su etapa de mayor demanda (fructificación) de 0,4 l/planta al día.

### **3.5. Variables y análisis de datos:**

#### **Parámetros Micro climáticos**

En cada parcela se colocó un sensor de temperatura del aire (C°) y humedad relativa del aire (%), estos dispositivos registraron el comportamiento horario de estas variables climáticas, de los tres tratamientos. Se monitoreó diariamente las [CO<sub>2</sub>] en los tratamientos, a través de un equipo analizador de gases infrarrojos (IRGA), posteriormente se procedió a realizar un análisis de los datos obtenidos, estos se procesaron mediante el uso de una hoja de cálculo y paquete estadístico InfoStat (para ANAVAR y prueba de medias); para lo cual se procedió a agrupar los datos en promedios semanales, se calculó la estadística básica (media, desviación estándar, coeficiente de variación, valores máximos y mínimos semanales); se analizó el comportamiento diario de la temperatura y se calculó el tiempo en que las temperaturas diarias superaban los umbrales óptimos para fotosíntesis en tomate (por encima de 30°C; Hidalgo y Gonzáles, 2005; Rodríguez, 2013) y para el desarrollo y maduración del fruto (26°C; Rodríguez, 2013), así como para que se produjeran abortos de flores por elongación del pistilo que impide la fecundación (32 °C; Hidalgo y Gonzáles,

2005), se realizó un análisis de frecuencia, ordenando los valores de mayor a menor, asignándole un número de orden (n) y calculando una frecuencia asociada (F%) a cada n. Las frecuencias evaluadas fueron 50% y 75 %, es decir para cada mes se evaluó cuantas horas las plantas estuvieron expuestas a estas temperaturas.

Partiendo de las temperaturas semanales se procedió a estimar la presión de vapor de saturación (V, hPa) haciendo uso de la aproximación de Rosenberg ( $\text{Log}V=0,02604*\text{Temp. Med. }(^{\circ}\text{C})+0,82488$ ), para luego calcular la presión de vapor instantánea (v, hPa) a través de la expresión  $\text{HR}=v/V*100\%$ , donde HR representa la humedad relativa promedio semanal. También se calculó el déficit de saturación (Ds) como:  $\text{Ds}=V-v$ .

### **Parámetros de Crecimiento y desarrollo del cultivo**

En esta parte, de manera semanal se hacían evaluaciones de fenología, observando las manifestaciones físicas de cada etapa siguiendo los criterios establecidos en el Manual de Evaluaciones Fenológicas de Yzarra y López (2001). En el cuadro 2 se muestran dichos criterios. Los tratamientos se consideraban que entraban en cada fase cuando al menos 4 de las 8 plantas evaluadas se encontraba en dicha etapa, es decir, cuando al menos el 50% de las plantas evaluadas estuvieran en una denominada etapa. Estos datos se procesaron en hojas de cálculo y se realizaron gráficos que muestran como fue el comportamiento de estas variables en cada tratamiento.

Cuadro 2: Criterios para definir fases fenológicas del cultivo.

| <b>Etapas</b>          | <b>Criterio</b>                   | <b>Fuente</b>             |
|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Crecimiento vegetativo | Desde trasplante hasta floración. | Pérez <i>et al</i> , 2001 |
| Inicio de floración    | Primeras estructuras Florales.    | Yzarra y López, 2001.     |
| Floración              | Se abren las primeras flores      |                           |
| Fructificación         | Aparición de frutos               |                           |
| Cosecha                | Madurez fisiológica, color Rojo   |                           |

Para la evaluación del crecimiento y desarrollo del cultivo se realizó una evaluación destructiva a los 30, 60 y 90 días después del trasplante, para dicha evaluación se cosecharon, al azar, ocho plantas completas por tratamiento, las cuales se extraían de la

bolsa mediante el uso de un chorro de agua para eliminar el suelo en el cual crecía las raíces minimizando las pérdidas por ruptura (figuras 2a y 2b). Luego estas plantas se llevaron al laboratorio de fisiología del INIA, para medir la longitud del vástago y del sistema radical (en cm), mediante el uso de cinta métrica (ver figura 2c y 2d); seguidamente, se pesó cada uno de los órganos vegetales (hojas, tallo, flores y frutos) con una balanza para obtener el peso fresco, cuantificando el número de hojas, flores y frutos existentes. Posteriormente, se calculó el volumen de la raíz introduciendo las mismas en un cilindro graduado con un volumen de agua conocido y observando el volumen desplazado que representa el volumen ocupado por la raíz; hecha esta medición se colocaron los órganos en la estufa a una temperatura de 70° por 48 horas, posteriormente fueron pesadas (peso seco en gramos). Adicionalmente, cada semana se midió la altura de la planta (cm) y se contaba el número de hojas, flores, botones y frutos (verdes y maduros), igualmente en ocho plantas.



Figura 2: Extracción de las plantas y remoción del suelo con el uso de presión de agua (a y b) y medición de altura del eje principal (c) y longitud de la raíz (d).

### Parámetros Ecofisiológicos

Para la evaluación del comportamiento ecofisiológico del cultivo, se midió tres veces a la semana la fotosíntesis ( $P_n$ )  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , conductancia estomática ( $C$ )  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , tasa transpiración ( $E$ )  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , usando un equipo IRGA y se calculó la eficiencia de uso de agua ( $\text{EUA}$ )=  $P_n/E$ . Dichas mediciones se hicieron en horas de la mañana (9 am aproximadamente) para que hubiera suficiente energía solar y las plantas no estuvieran estresadas por efecto de altas temperaturas; una vez a la semana estas mediciones se repetían a las 8:00, 11:00, 14:00 y 16:00, esto para obtener en comportamiento de la tasa fotosintética en el día. Estos datos se procesaron mediante el uso de hojas de cálculo y se realizó ANAVAR y prueba de media de Duncan para evaluar las diferencias entre tratamientos, relacionando este comportamiento con las condiciones ambientales en cada tratamiento. En la figura 3 se muestra como se hicieron las mediciones correspondientes a esta parte del experimento.



Figura 3: medición de fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración, durante el ensayo.

### 3.6. Análisis Estadístico:

Todas las Variables medidas durante el experimento fueron sometidas a un análisis de varianza (ANAVAR) y a la prueba de media de Duncan, para evaluar si las diferencias fueron estadísticamente significativas o por el contrario se debían al error experimental. Para finalizar se realizó un análisis multivariado por componentes principales, para evaluar la correlación entre las variables y establecer unas nuevas variables que permitan resumir los resultados obtenidos. Estas pruebas se realizaron con el paquete InfoStat (2009).

## CÁPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1. Variables microclimáticas:

Los resultados del comportamiento semanal de las variables microclimáticas se presentan en las figuras 4 y 5.

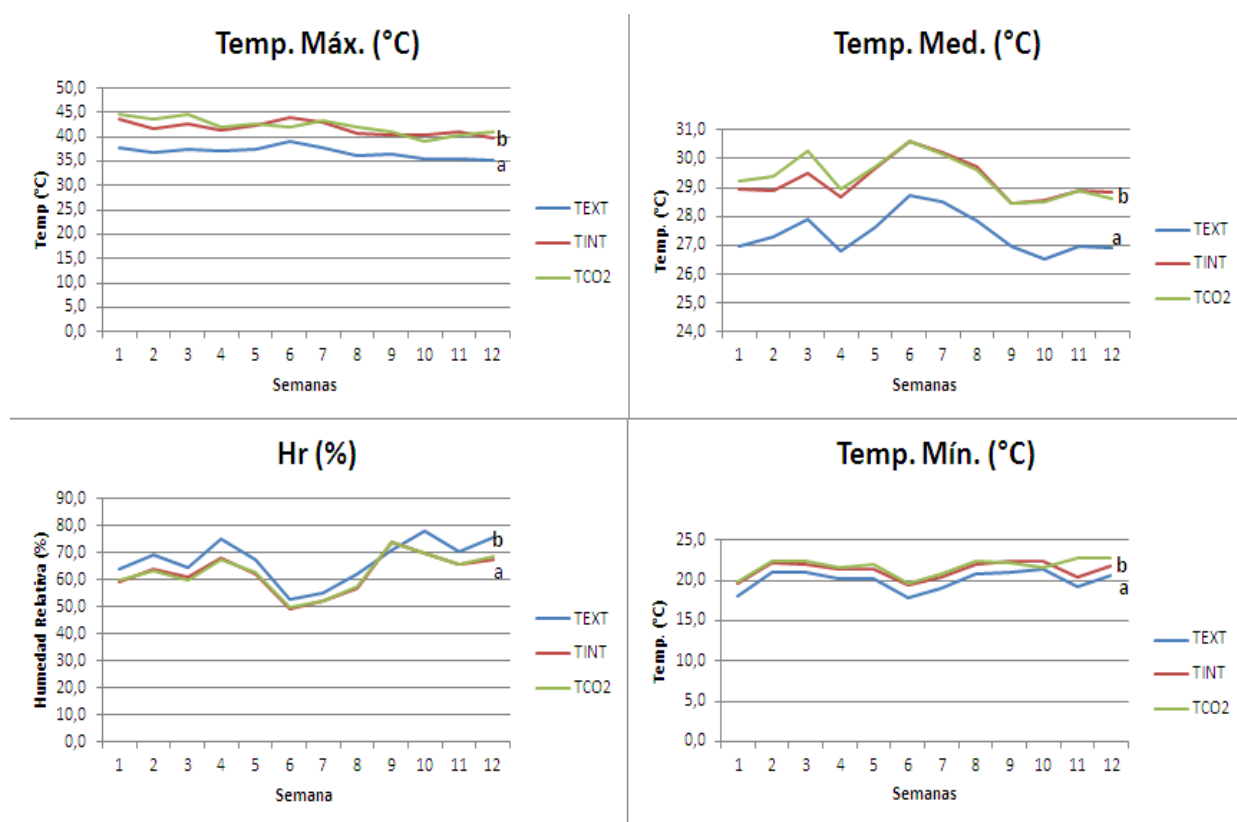


Figura 4: Comportamiento semanal de temperatura media, máxima y mínima (Temp. Med, Máx y Mín) y humedad relativa (Hr) para los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias significativas según ANAVAR y prueba de medias de Duncan ( $\alpha=0,05$ ).

En la figura 4 se muestra que el comportamiento promedio de la temperatura media, máxima y mínima semanal fue de 27,42 °C, 28,4 °C y 26,24 °C, respectivamente y la humedad relativa promedio semanal, fue de 67,07 %, todo esto para el tratamiento expuesto a condiciones de campo (TEXT). El microclima en condiciones de umbráculo sin aplicaciones de CO<sub>2</sub>, indica que, la temperatura promedio semanal fue de 29,24, las

máximas promedio de 30,20 °C y la mínima de 27,95 °C y la humedad relativa alcanzó el 62,42%.

El comportamiento del microclima en la cámara donde se controlaba el CO<sub>2</sub>, muestra que las temperaturas promedios estuvieron en 29,27 °C, 30,32 °C la máxima y 28,11°C la mínima, mientras que la Hr fue de 62,48%.

Las temperaturas fueron significativamente superiores en los tratamientos de umbráculo, caso contrario a la humedad relativa que fue inferior en estos tratamientos, respecto al testigo exterior.

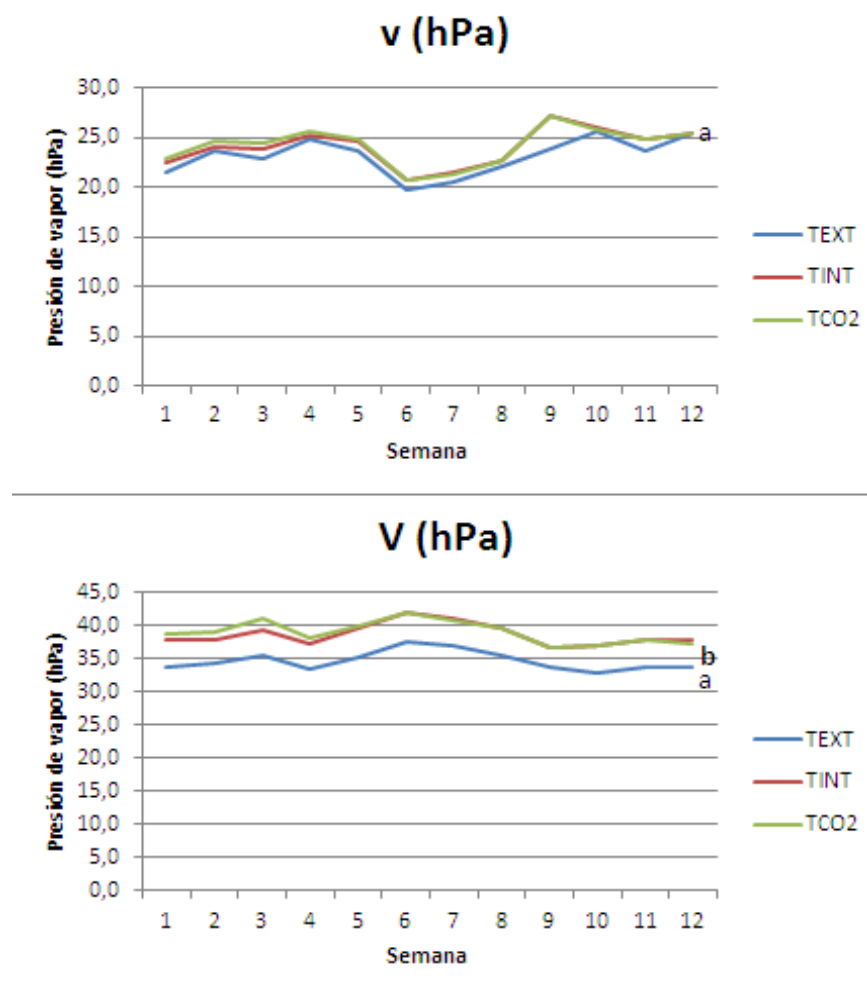


Figura 5: comportamiento semanal de la presión de vapor instantánea (v) y de saturación (V) en hPa. Letras distintas indican diferencias significativas según ANAVAR y prueba de medias de Duncan ( $\alpha=0,05$ ).

La figura 5 muestra que en lo que respecta a contenido de vapor de agua los tres tratamientos se encontraron con la misma presión de vapor instantánea, sin diferencias estadísticas, mientras que, la presión de vapor de saturación fue significativamente mayor en los tratamientos TCO2 y TINT, con respecto a TEXT, este comportamiento se debe a que los tratamientos de umbráculo poseen mayores temperaturas y  $V_s$  aumenta exponencialmente con la temperatura. Los promedios para estas variables estuvieron en TEXT=23,12 hPa, TINT=24 y TCO2=24,21, para  $v$  y de 34,61, 38,6 y 38,91, respectivamente, para  $V_s$ . Como es de suponer, al tener valores similares de presión de vapor instantánea y mayores valores de presión de vapor de saturación, los tratamientos de umbráculo presentaron mayor déficit de saturación ( $D_s$ ).

Con respecto a las concentraciones de  $\text{CO}_2$  en los tratamientos, fueron significativamente superior en TCO2, e iguales en TEXT y TINT con promedios de 408 ppm y 411 ppm respectivamente, y 423 ppm para TCO2 (figura 6).

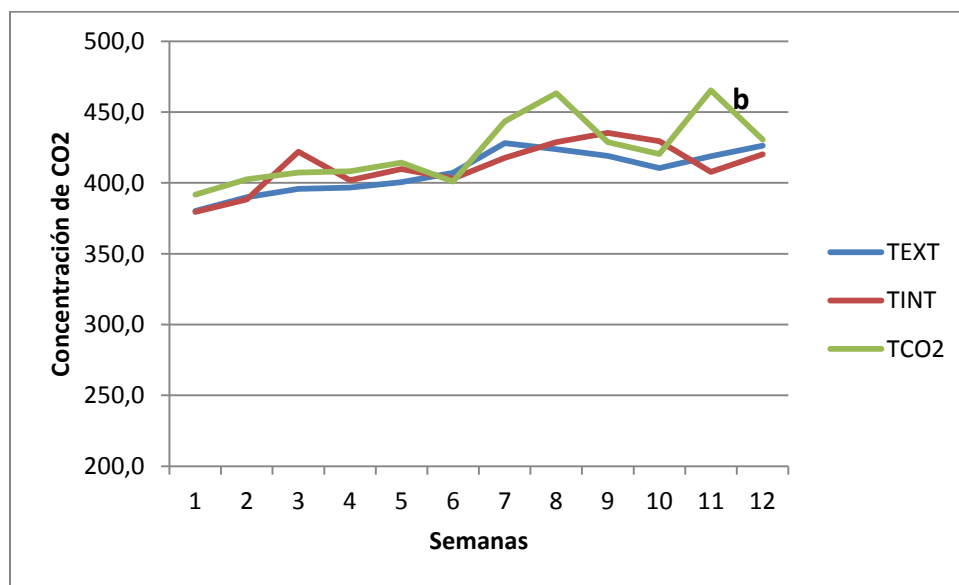


Figura 6: comportamiento de las concentraciones promedio semanales de  $\text{CO}_2$ . Letras distintas indican diferencias significativas según ANAVAR y prueba de medias de Duncan ( $\alpha=0,05$ ).

Este comportamiento concuerda con el esperado para este experimento ya que las condiciones de  $\text{CO}_2$  fueron modificadas para hacerlas mayor en TCO2, mientras que las

temperaturas fueron influidas por una modificación del balance energético, como efecto de la colocación de plástico que recubre las plantaciones en TINT y TCO<sub>2</sub> que pudo contener parte de la radiación que debió salir del invernadero, este efecto es conocido como efecto invernadero; también el plástico pudo estar limitando la pérdida de calor por convección. Estas temperaturas además modificaron la capacidad del aire para contener moléculas de agua, dándole mayor capacidad para almacenarla a aquellos tratamientos que mostraban mayor temperatura (TINT y TCO<sub>2</sub>), esto derivó en una menor humedad relativa (los contenidos de presión de vapor de agua instantáneos resultaron similares).

Si bien es cierto que no se pudo contar con sensores de radiación para el comportamiento horario de esta variable, durante una semana se monitoreó este elemento para observar que porcentaje de radiación era interceptada por el plástico implementado en el umbráculo. La radiación global (R<sub>g</sub>) dentro del invernadero fue en promedio 58,29% la R<sub>g</sub> de afuera y 62,16% para la radiación fotosintéticamente activa (PAR), esto representa un porcentaje de intercepción de la radiación de 41,7 y de 37,84%, respectivamente. Con esto queda demostrado que el plástico sí afecta la cantidad de radiación que entra y sale del umbráculo.

Los coeficientes de variación de las variables microclimáticas fueron bastante reducidos, lo cual, es un buen indicativo y refleja que se puede utilizar la media para caracterizar el comportamiento de los elementos estudiados. En el anexo 1 se muestra un cuadro resumen con los valores semanales y estadística básica de las variables estudiadas.

En la figura 7 se muestra el gráfico comparativo entre la ETC del tomate y el agua de riego agregada por día; se observa que la oferta de agua siempre se mantuvo por encima de la demanda del cultivo (ETC). Para estos cálculos se utilizó la evaporación obtenida por Piche que se ajustó a tina tipo “A” multiplicando por 0,8, ya que piche genera un error por exceso con respecto a la tina (Sánchez, 2010) y luego se multiplicó de nuevo por esa cifra, siendo el coeficiente de tina estimado para la región, para obtener la evapotranspiración potencial (ETO), este valor se multiplicó por el coeficiente del cultivo según la etapa (Rodríguez y Pire, 2008) para tener la evapotranspiración del cultivo (ETC). Tanto la ETC

como el riego se llevaron a valores mensuales, y se pasó a litros relacionándolo con el área de las bolsas en las que estaban contenidas las plantas (25 cm).

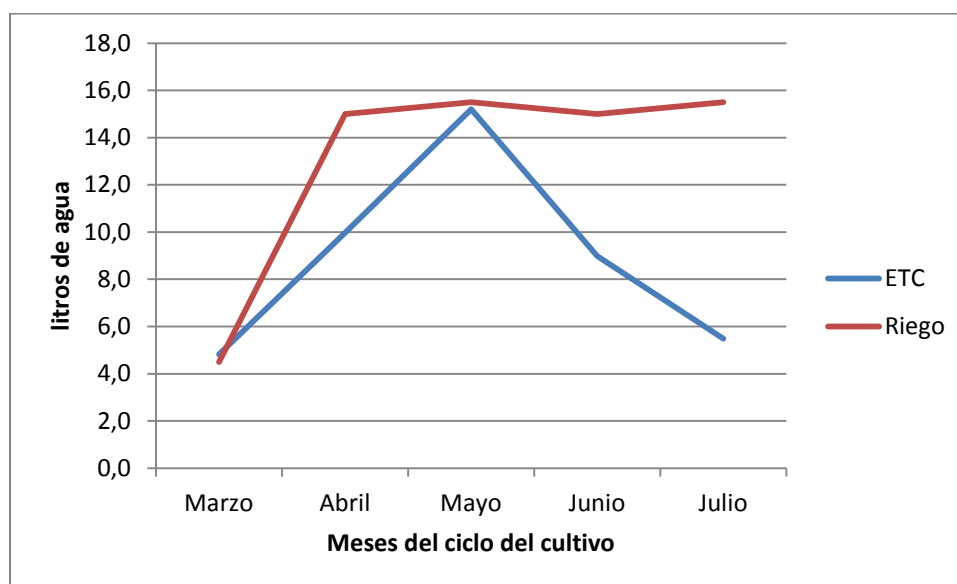


Figura 7: comparación entre la evapotranspiración del cultivo (ETC) y el agua de riego suministrada durante el ciclo del cultivo.

En lo concerniente al análisis de frecuencias, en el cuadro 3, se muestran la frecuencias obtenidas con una probabilidad de 50% y 75%, para un umbral de temperatura de 26 °C, temperatura sobre la cual se afecta la formación y maduración del fruto de tomate (Rodríguez, 2013).

Cuadro 3: Duración en horas en las cuales las temperaturas superaron los 26 °C al 50 y 75 % de probabilidad.

| TEXT    |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL |
| F(%)=50 | 11  | 12  | 14  | 12  | 12  |
| F(%)=75 | 11  | 11  | 13  | 11  | 12  |
| TINT    |     |     |     |     |     |
|         | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL |
| F(%)=50 | 13  | 13  | 14  | 12  | 13  |
| F(%)=75 | 12  | 12  | 13  | 12  | 13  |
| TCO2    |     |     |     |     |     |
|         | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL |
| F(%)=50 | 13  | 14  | 14  | 13  | 14  |
| F(%)=75 | 13  | 13  | 13  | 12  | 13  |

En el cuadro anterior se observa que para el mes de marzo TEXT tuvo entre una y dos horas menos de exposición a temperaturas superiores a 26 °C (entre 11 y 13 horas), con respecto a los demás tratamientos, mientras que, TINT y TCO2, se comportaron de manera similar la mitad de las veces y TCO2 estuvo expuesto entre 13 y 15 horas con una probabilidad de 75% y TINT una hora menos (12-14).

En abril, las frecuencias de 50% y 75%, los valores asociados fueron 12 y 11 para TEXT, 13 y 12 para TINT y 14 y 13 para TCO2, es decir el tiempo de exposición aumento al menos una hora para cada frecuencia evaluada; caso contrario ocurrió en mayo, que los valores se comportaron similares en todos los tratamientos con una exposición de 14 y 13 horas (límite superior 16 horas) a temperaturas superiores a 26 °C.

En el mes de junio, se observa, diferencias marcadas a una probabilidad de 50 %, entre TEXT y TINT con al menos 12 horas cada uno y TCO2 con al menos 13 horas, mientras que con una probabilidad de 75 % las diferencias están entre TEXT con 11 horas o más y los tratamientos sometidos a umbráculo con 12 horas o más; los límites superiores fueron de 15 y 17 horas para TEXT y los tratamientos dentro del umbráculo respectivamente.

Finalmente para el mes de julio, TEXT tuvo una exposición de 12 horas para ambas probabilidades, TINT de 13 horas o más y TCO2 tuvo 14 horas al 50% y 13 horas al 75 %, los límites superiores fueron de 15, y 16 para TEXT y para los tratamientos dentro del umbráculo (TINT y TCO2) respectivamente. Al calcular el promedio de horas de exposición para cada probabilidad, tenemos TEXT estuvo expuesto a temperaturas superiores a 26 °C por al menos 12 horas para ambas probabilidades, TINT tuvo 13 y 12 horas al 50 y 75 %, respectivamente y TCO2 14 y 13 horas o más, para una probabilidad asociada de 50 y 75 %, en este sentido, se pudiera decir que para el 50 % de probabilidad, TEXT, TINT y TCO2, son separados por, al menos, una hora más de exposición en orden creciente, mientras que para el 75% TEXT y TINT tuvieron la misma exposición y TCO2 una exposición de por lo menos una hora más.

Al evaluar las duraciones en horas, donde las plantas estuvieron sometidas a temperaturas que pudieran afectar el proceso de fotosíntesis en tomate, es decir aquellas que superen los 30 °C (Hidalgo y Gonzáles, 2005; Rodríguez, 2013), no se observaron diferencias marcadas entre los tratamientos, de hecho los promedios resultaron iguales para los tres tratamientos con al menos nueve horas para el 50 % de las veces y ocho horas para el 75% de las veces (ver cuadro 4). La duración máxima fue de 11 horas para TCO2 y TINT y de 12 horas para TEXT.

Cuadro 4: frecuencias de horas en las cuales las temperaturas superaron los 30 °C, al 50 y 75 % de probabilidad.

| TEXT    |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL |
| F(%)=50 | 8   | 8   | 10  | 9   | 9   |
| F(%)=75 | 8   | 8   | 9   | 7   | 9   |
| TINT    |     |     |     |     |     |
|         | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL |
| F(%)=50 | 8   | 9   | 9   | 9   | 8   |
| F(%)=75 | 8   | 8   | 9   | 8   | 8   |
| TCO2    |     |     |     |     |     |
|         | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL |
| F(%)=50 | 8   | 9   | 9   | 9   | 8   |
| F(%)=75 | 8   | 8   | 9   | 7   | 8   |

En el cuadro 5 se muestra, las frecuencias acumuladas para el 50 y 75 % de horas en las cuales las temperaturas superaron los 32 °C, temperatura por encima de la cual Hidalgo y Gonzáles (2005), reportan que ocurren abortos de flores por heterostilia.

Cuadro 5: frecuencias de horas en las cuales las temperaturas superaron los 32 °C, al 50 y 75 % de probabilidad.

| TEXT    |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL |
| F(%)=50 | 7   | 7   | 8   | 7   | 7   |
| F(%)=75 | 7   | 6   | 7   | 5   | 7   |
| TINT    |     |     |     |     |     |
|         | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL |
| F(%)=50 | 7   | 8   | 9   | 8   | 8   |
| F(%)=75 | 7   | 7   | 8   | 7   | 5   |
| TCO2    |     |     |     |     |     |
|         | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL |
| F(%)=50 | 7   | 8   | 8   | 8   | 7   |
| F(%)=75 | 7   | 7   | 7   | 6   | 6   |

En el cuadro 5, se muestra que el tiempo de exposición a temperaturas superiores a 32 °C fue similar para los tres tratamientos para el mes de marzo, mientras que en abril y junio el tiempo de exposición fue una hora mayor para los tratamientos sometidos a umbráculo, mientras que en mayo y julio TEXT y TCO2 mostraron similitudes y TINT una hora más para ambas probabilidades, sin embargo, cuando se calcula el promedio para estas probabilidades tenemos que a lo largo de los cinco meses en promedio los tratamientos de umbráculo (TINT y TCO2) estuvieron expuestos a al menos 8 y 7 horas mientras TEXT a 7 y 6 horas para las probabilidades 50% y 75%, respectivamente. La mayor duración para TEXT y TINT fue de 10 horas y para TCO2 fue de 9 horas.

De manera general, según estos resultados el proceso de fotosíntesis debería ser afectado de manera similar para los tratamientos TINT y TCO2, ya que el comportamiento promedio de la temperatura fue similares para ellos, así como el tiempo de exposición a niveles de temperatura supra-óptimos; de igual manera ocurre con el aborto de flores por heterostilia, mientras que para el caso del llenado y maduración del fruto, si bien es cierto, las temperaturas promedios estuvieron siempre por encima del umbral sugerido por Rodríguez

(2013) de 26 °C, fue significativamente mayor en los tratamientos TINT y TCO2, y el tiempo de exposición fue de al menos una hora más en TCO2 con respecto a TINT y este último una hora por encima de TEXT. En el anexo 2 se muestran las tablas de frecuencias con las cuales se calcularon las frecuencias reportadas.

## **4.2. Crecimiento y desarrollo del cultivo:**

### **a) Comportamiento fenológico del cultivo de tomate.**

En las condiciones base (TEXT) el cultivo de tomate alcanzó su madurez a cosecha a los 65 días después del trasplante (a partir de la novena semana) esto concuerda con lo reportado por Pérez *et al.* (2001), quienes afirman que se produce 60 días después del trasplante; en las condiciones de invernadero (TINT) el ciclo del cultivo se alargó a 88 ddt (113 días después de la germinación), y para el caso de la cámara con CO<sub>2</sub> la cosecha se ubicó a los 110 ddt (135 días después de la germinación). Estos dos últimos tratamientos mostraron un retraso bastante significativo con respecto a lo reportado por Pérez *et al.* (2001). En la figura 8, se muestra como debería comportarse la fenología de este genotipo de tomate según los autores señalados con anterioridad; nótese que se obvió la etapa inicial, ya que en esta etapa no se sometieron las plantas a ningún tratamiento, en la fenología señalada por los autores tampoco se discrimina el inicio de la floración. Con esta información se definió la duración máxima del ensayo que fue de 16 semanas.

Para discriminar en qué fase fenológica se encontraron las diferencias, a continuación se presenta un gráfico con cada uno de los tratamientos y la duración del ciclo en semanas.

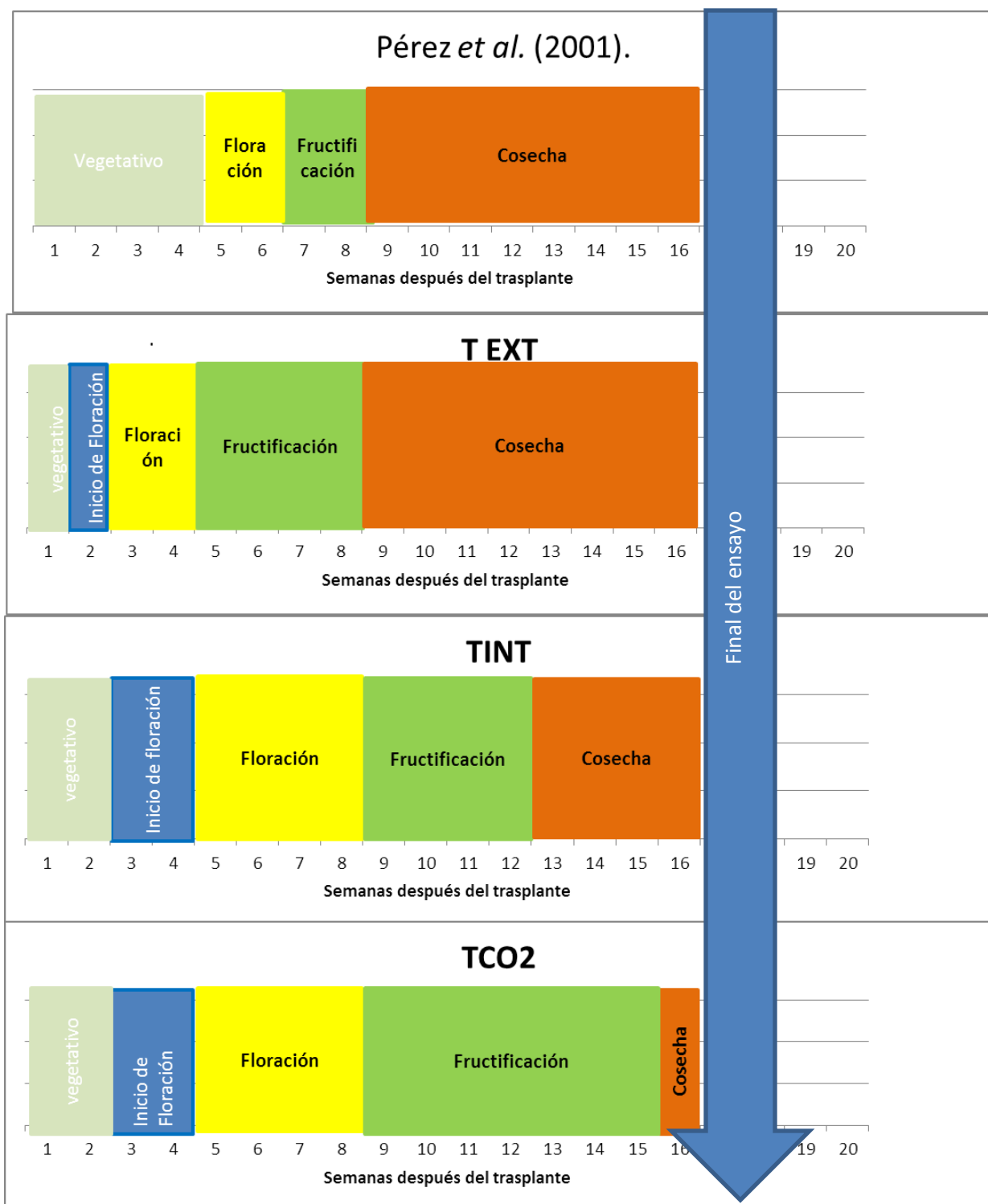


Figura 8: Fenología del cultivo reportada por la bibliografía y ante los diferentes ratamientos del ensayo. En la semana 16 se da fin al ensayo.

Observamos en la figura 8 que luego del trasplante, el periodo vegetativo y el inicio de la floración para el tratamiento testigo (TEXT) es de una semana cada uno, mientras que, para los dos tratamientos sometidos a condiciones de umbráculo (TINT y TCO<sub>2</sub>) el periodo vegetativo abarcó las dos primeras semanas, y el inicio de la floración las dos semanas siguientes; por otro lado la floración ocurrió entre la semana tres y cuatro en TEXT, mientras que para TINT y TCO<sub>2</sub>, se ubicó entre la semana 5 y la semana 8, vale la pena destacar que para estas primeras tres fases del cultivo el comportamiento de las plantas sometidas a condiciones de umbráculo (TINT y TCO<sub>2</sub>) fue muy similar, sin embargo, cada fase duró el doble de tiempo al ser comparada con el testigo en condiciones ambientales de base (TEXT), que a su vez difiere con Pérez *et al.* (2001), quien reporta que el ciclo vegetativo del tomate es de cuatro semanas, pero coincide con que la floración de dos semanas, según Sánchez *et al.* (2008), el efecto varietal es uno de los factores más incide en el tiempo a inicio de floración en plantas de tomate.

En lo que respecta a la fructificación en el testigo exterior (TEXT), tiene una duración de cuatro semanas, ubicándose entre la quinta y la octava semana, con un comportamiento similar de esta fase en el testigo interior (TINT); sin embargo su inicio ocurrió en la semana nueve, al igual que el de las plantas de umbráculo con alto CO<sub>2</sub> (TCO<sub>2</sub>), aunque en este último tratamiento se extendió hasta la semana 15, con una duración de siete semanas, siendo el tratamiento con mayor duración de esta fase.

En lo que respecta a la cosecha se observaron diferencias muy marcadas en TEXT comenzó en la semana 9, tal como lo reporta la literatura y se extendió hasta el final del ensayo en la semana 16, mientras que TINT comenzó cuatro semanas más tarde (en la semana 13), y finalmente TCO<sub>2</sub>, presentó un retraso de 7 semanas, presentándose esta fase la última semana del ensayo.

En el tratamiento TEXT y TINT, se logró monitorear la producción de frutos hasta la tercera semana una vez comenzada la cosecha, no obstante para el tratamiento TCO<sub>2</sub>, la segunda semana después de iniciada la cosecha no se contaban con frutos maduros para la cosecha y

por razones de tiempo del ensayo no se continuó el monitoreo más allá y se dio por finalizado el ensayo (semana 16).

Para resumir las diferencias en el comportamiento fenológico se realizó el cuadro 13 donde se muestra la duración en semanas y días de cada etapa y se compara con los señalados en la literatura (Pérez *et al.*; 2001).

Cuadro 6: Resumen comparativo entre la duración de las etapas fenológicas.

| Duración en días           |         |         |         |         |         |       |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| Tratamiento                | Etapa 1 | Etapa 2 | Etapa 3 | Etapa 4 | Etapa 5 | Total |
| Pérez <i>et al.</i> (2001) | 21      | 28      | 21      | 14      | 42      | 126   |
| TEXT                       | 28      | 7       | 21      | 28      | 56      | 140   |
| TINT                       | 28      | 14      | 42      | 28      | 28      | 140   |
| TCO2                       | 28      | 14      | 42      | 49      | 7       | 140   |

Donde: Etapa 1:Inicial; Etapa 2:Vegetativa; Etapa 3:Floración (incluido inicio de la floración); Etapa 4: Fructificación; Etapa 5: Cosecha.

Según el cuadro 6 la etapa inicial tuvo una duración similar para todos los casos (28 días), en la etapa vegetativa el tratamiento TEXT mostró una duración de 7 días, en comparación la literatura señala que la duración es de 28 días y la obtenida para TINT y TCO2 (14 días), la etapa de floración tuvo una duración similar entre TEXT y Pérez *et al.* (2001) (21 días); mientras que los tratamientos sometidos a condiciones de umbráculo la duración fue de 42 días. En la etapa de fructificación la literatura reporta una duración de 14 días, en contraste TEXT y TINT duraron 28 días, mientras que TCO2 duró 49 días; finalmente la cosecha tuvo una duración bastante variable, sin embargo fue muy influenciada por la duración del ensayo, la literatura reporta que la duración es de 42 días, sin embargo al durar el ensayo 140 días se logró cosechar 14 días más en TEXT, para TINT y TCO2 la duración de esta fase se recortó por un comienzo tardío a 28 días y 7 días respectivamente.

Lo anterior deja en evidencia que las altas temperaturas registradas en los tratamientos de umbráculo, ocasionaron un retraso en el ciclo del cultivo, este retraso se agudizó en la fase de fructificación en el caso de TCO2, esto porque para el proceso de llenado del fruto y maduración la temperatura máxima es de 26 °C, por encima de la cual la planta entra en un estrés térmico y se produce un desajuste en el metabolismo de azúcares, además que la

planta metaboliza simultáneamente compuestos que ayuden a tolerar el estrés como la prolina y la Glicin-betaína (Gb) (Rodríguez, 2013), esto reduce la eficiencia en la síntesis y translocación de otros solutos (azúcares) hacia los frutos. Es importante recordar que aunque entre TINT y TCO2 no hubo diferencias significativas en el comportamiento de la temperatura, en promedio TCO2, estuvo expuesto 1 hora diaria más a temperaturas por encima de 26°C en comparación con TINT y 2 horas con respecto a TEXT. Esto coincide con lo reportado por Jarma *et al.* (2012), quienes alegan que el aumento en las temperaturas modifica la fenología de las plantas, agregan que cambios en la temperatura podría ocasionar la extinción de especies del mismo género del tomate (*Solanum*).

Este retraso en el inicio de la etapa de fructificación pudo haber generado que los tratamientos sometidos a las altas temperaturas dentro del umbráculo, desarrollaran mayor altura tal como se evidencia en la figura 9.

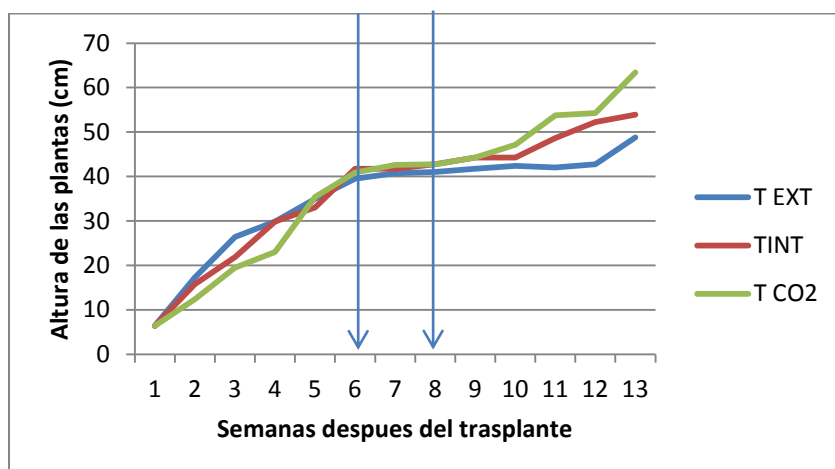


Figura 9: Altura semanal promedio (en cm) de las plantas, discriminada por tratamiento.

Se puede observar en la Figura 9 que la altura promedio de las plantas tiende a estabilizarse en la semana 6, donde el tratamiento TEXT se encuentra en plena fructificación, por ello se detiene el crecimiento de la planta para este tratamiento, ya que la mayor parte de los fotosintetizados se translocan hacia los frutos, tal como lo señala Pérez *et al.* (2001). Es en la semana 8 donde comienza a haber una diferencia estadísticamente significativa (con un  $\alpha=0,05$ ) entre TEXT y los tratamientos en umbráculo, donde TINT y TCO2 conforman un solo grupo sin diferencias hasta la última medición (semana13), cuando los tres

tratamientos son estadísticamente distintos, siendo el tratamiento con una mayor altura TCO<sub>2</sub>, contradiciendo lo reportado por Leskovar (2001), quien indica que las concentraciones de CO<sub>2</sub> no alteran la altura de las plantas.

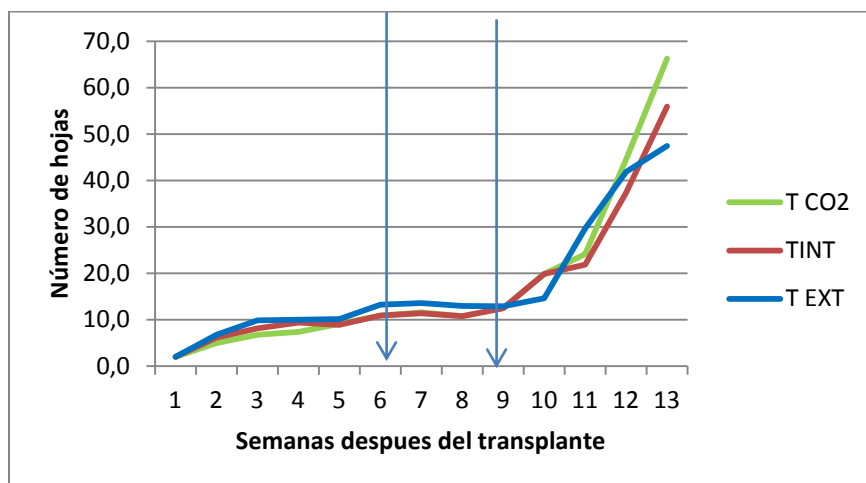


Figura 10: Número de hojas promedio semanal en las plantas, discriminadas por tratamiento.

Para la variable número de hojas no se observó ninguna diferencia estadísticamente significativa, tal como lo reporta Leskovar (2001), quien indica que las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> no afectan el número de hojas. El comportamiento es con tendencia a estabilizarse en la semana 6 y se incrementa de manera importante a partir de la semana 9, con una mayor aceleración en los tratamientos TCO<sub>2</sub> y TINT, esto se deduce por la trayectoria de la curva y no por el análisis estadístico que indica que no hay diferencias entre estas líneas. Al igual que esta variable el número de botones florales y flores abiertas no presentó ninguna diferencia estadísticamente significativa. Sin embargo al evaluar el número de frutos sí se observaron diferencias (figura 11).

Es importante destacar que TEXT estabiliza su altura en las semanas 6-8 y luego de ese tiempo crece muy poco; sin embargo el comportamiento del número de hojas se incrementa en los 3 tratamientos luego de la semana 9.

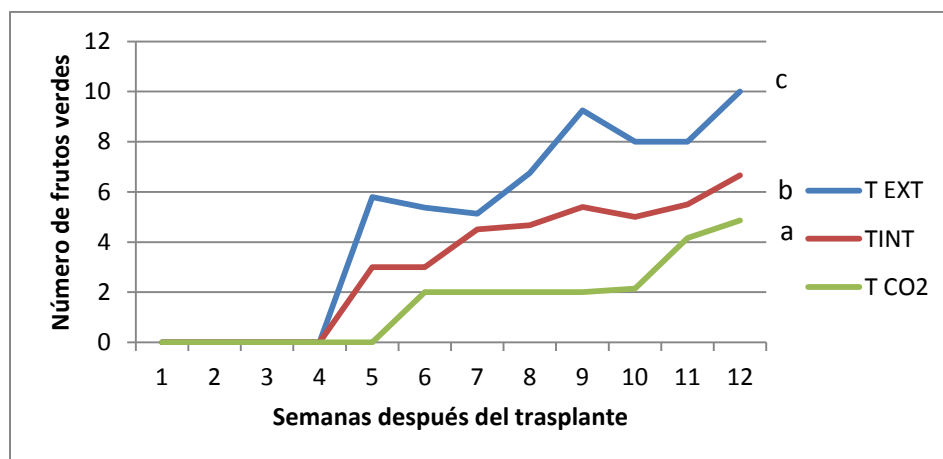


Figura 11: Número de frutos verdes por planta (promedios semanales). Letras distintas indican diferencias significativas según prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ).

Se puede observar que el tratamiento que mostró mayor número de frutos verdes es el TEXT, seguido de TINT y en último lugar TCO2, esto puede deberse a las altas temperaturas desarrolladas en TINT y TCO2, lo cual afectó negativamente la producción de frutos en los dos últimos tratamientos. Si bien es cierto que no se reportan el número de flores abortadas, al ser el número de flores abiertas igual (figura 12) durante todas las semanas para los tres tratamientos y al haber estas diferencias en el número de frutos formados, es suficiente evidencia para afirmar que hubo un número mayor de abortos en TCO2, seguido de TINT y en menor número TEXT.

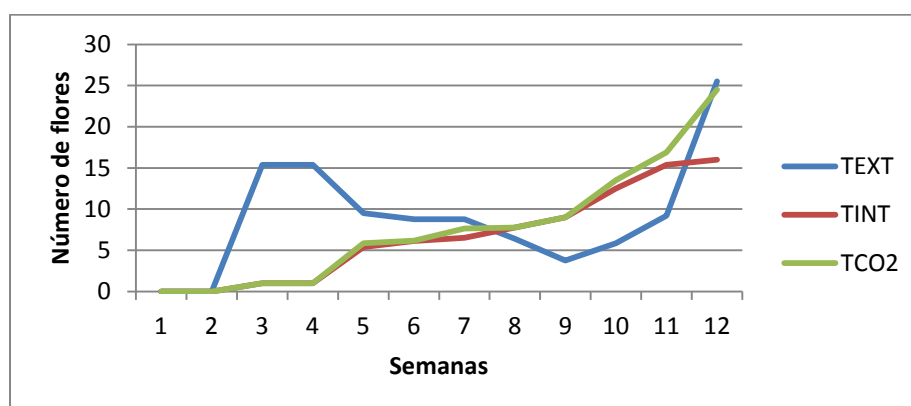


Figura 12: Número de flores para los tres tratamientos, donde no se observan diferencias significativas ( $\alpha=0,05$ ).

Es importante analizar el comportamiento de las curvas (figura 12) que para el caso de TEXT tiene fluctuaciones bastante marcadas a lo largo del tiempo, esto como consecuencia probablemente, de la maduración de los frutos, siendo este proceso uno de los más sensibles a las altas temperaturas según lo reporta Rodríguez (2013), mientras que Pérez (2001), agrega que una de las causas por la que el proceso de maduración del tomate se ve afectado durante el estrés térmico es por la inhibición de la síntesis de licopeno (responsable del color rojo), proceso que ocurre por encima de los 30°C. Las fluctuaciones son menos acentuadas en TINT y nulas en TCO2 donde se mantiene el número de frutos verde constante durante las semanas 6,7,8 y 9, incrementando en la semana 10.

## b) Comportamiento del cultivo de tomate 30 días después del trasplante.

Las mediciones hechas en esta primera fecha, arrojan que para las variables evaluadas existieron diferencias estadísticamente significativas ( $\alpha=0,05$ ), a continuación (figura 13) se describe como fue el comportamiento de cada una de ellas:

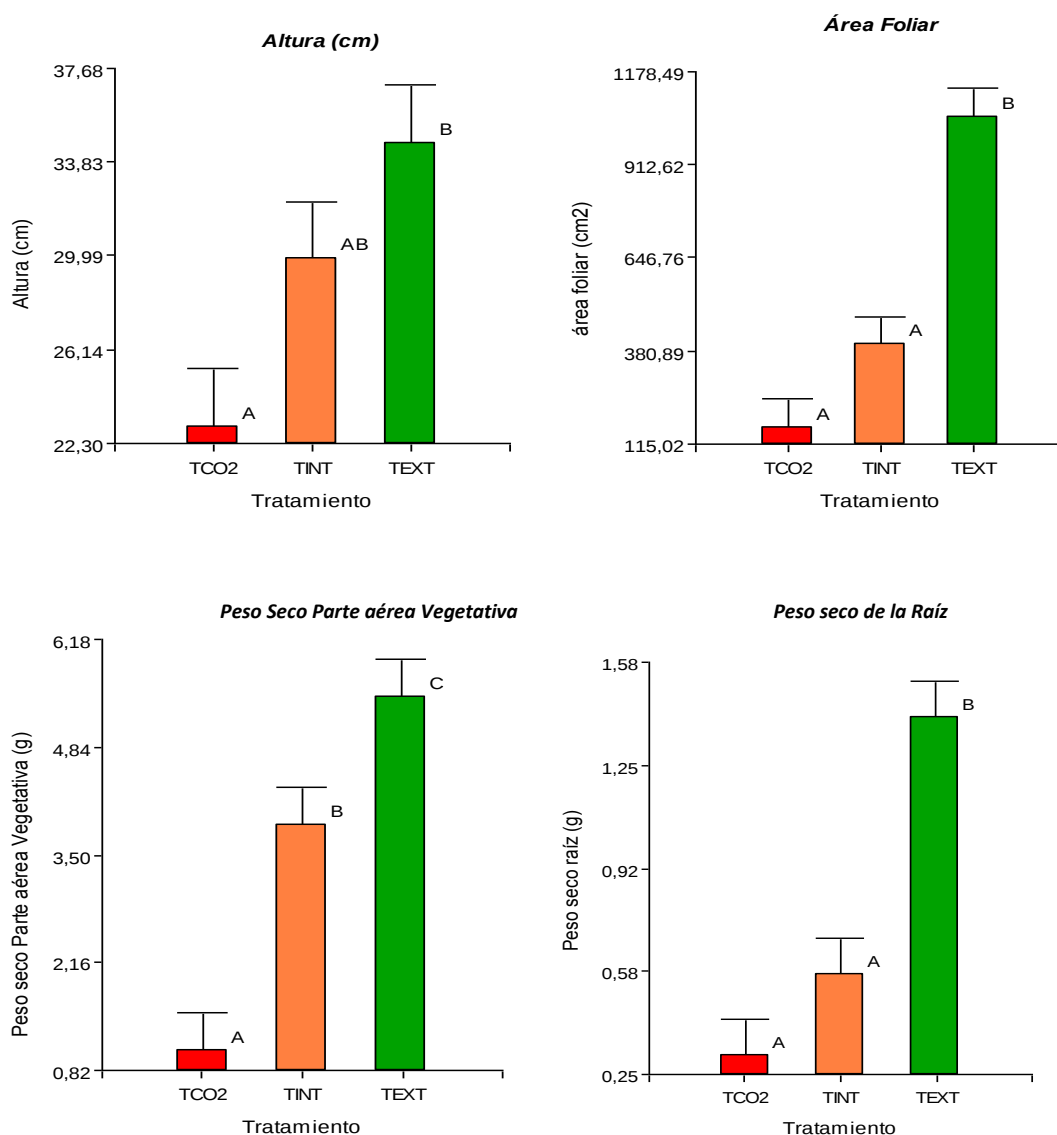


Figura 13: Comportamiento de las variables altura , área foliar, peso seco de la parte aérea vegetativa y peso seco de la raíz de las plantas, ante los distintos tratamientos. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $\alpha=0,05$ ). En la parte superior de cada barra(que representa el promedio) la desviación estándar respectiva para el tratamiento.

En la figura 13 se observa que las plantas que tuvieron una menor altura son las sometidas a TCO<sub>2</sub>, ubicadas en el mismo grupo con TINT, quien a su vez no es diferente estadísticamente a TEXT, a pesar que TEXT y TCO<sub>2</sub> si conforman grupos diferentes. Mientras que para peso seco de la parte aérea vegetativa (tallos y hojas) se logran diferenciar tres grupos conformados por TEXT, con mayor biomasa (5,47 g), TINT en segundo lugar con 3,87 g y el menor peso lo obtuvo TCO<sub>2</sub> con 1,07 g. Esta misma condición de inferioridad del tratamiento con alto CO<sub>2</sub>, se repite para área foliar, peso seco de la raíz (figura 12), así como para el resto de las variables evaluadas, razón por la cual no se reportan en esta parte. Este comportamiento es completamente contrario a lo que se reporta en la literatura, sobre todo Leskovar (2001), quien asegura que en tomate, se obtiene mayor peso de plantas al tratarlas con alto CO<sub>2</sub>, sin afectar la altura.

**c) Comportamiento del cultivo de tomate a los 60 días después del trasplante.**

Las variables analizadas en esta cosecha de material vegetal, arrojaron diferencias significativas para todas las variables exceptuando el número de hojas, las pruebas de media se pueden observar en las figuras 14, 15 y 16.

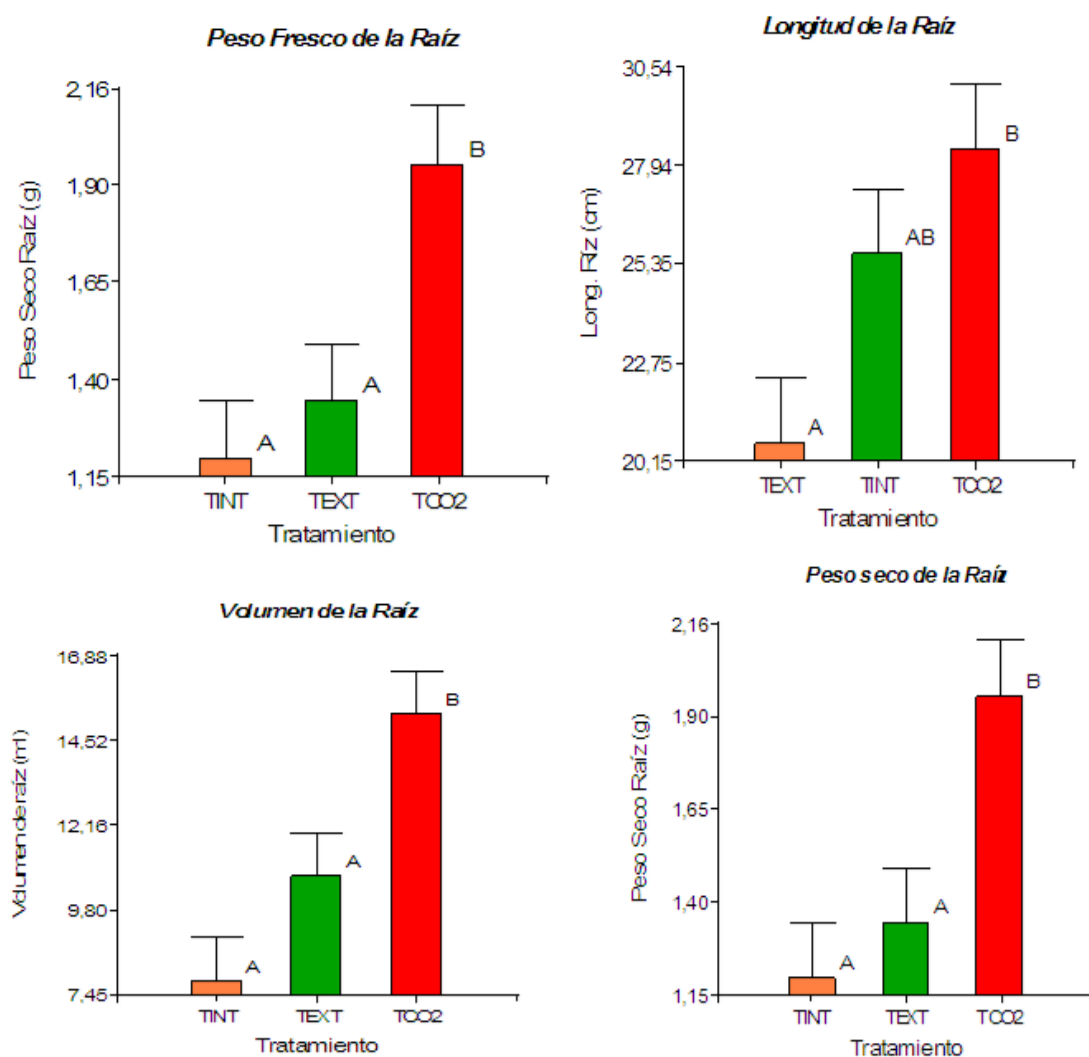


Figura 14: comportamiento promedio de las variables: peso fresco de la raíz, longitud de la raíz, volumen de la raíz y peso seco de la raíz. 60 ddt ; letras distintas indican diferencias significativas con  $\alpha=0,05$ . En la parte superior de cada barra (que representa el promedio) la desviación estándar respectiva para el tratamiento.

En la figura 14 se observa que la mayor biomasa radical la posee el tratamiento con CO<sub>2</sub>, así como la mayor longitud de las raíces y mayor volumen radical. En el caso de la longitud de las raíces, el promedio fue 28,38 cm para TCO<sub>2</sub>, en comparación con 25,63 cm de TINT y los 20,63 cm del tratamiento TEXT, pese a estas diferencias TINT no logró distanciarse de ninguno de los restantes tratamientos; en tanto que la raíz de TCO<sub>2</sub> fue 42 % más voluminosa que el testigo (TINT), de igual modo que la biomasa fue 46 % mayor en las plantas tratadas con CO<sub>2</sub>, al ser comparada con TINT (ver anexo 3 para observar las medias para cada tratamiento y variable). Este comportamiento concuerda con lo reportado por Sanchez *et. al.* (2000), quienes señalaron para el maíz que las raíces pueden incrementar su biomasa al ser tratadas con alto CO<sub>2</sub> atmosférico, por otro lado Leskovar (2001) asegura que en tomate puede aumentar la translocación de sacarosa hacia las raíces, facilitando la movilización de N y componentes de C, y así promover el desarrollo de primordios radiculares, esto explica el mayor volumen; este mayor crecimiento en las raíces puede estar relacionado con mayores requerimientos nutricionales, que llevan a la planta a explorar más el suelo. Vale la pena mencionar que el sustrato utilizado fue con características similares para todos los tratamientos.

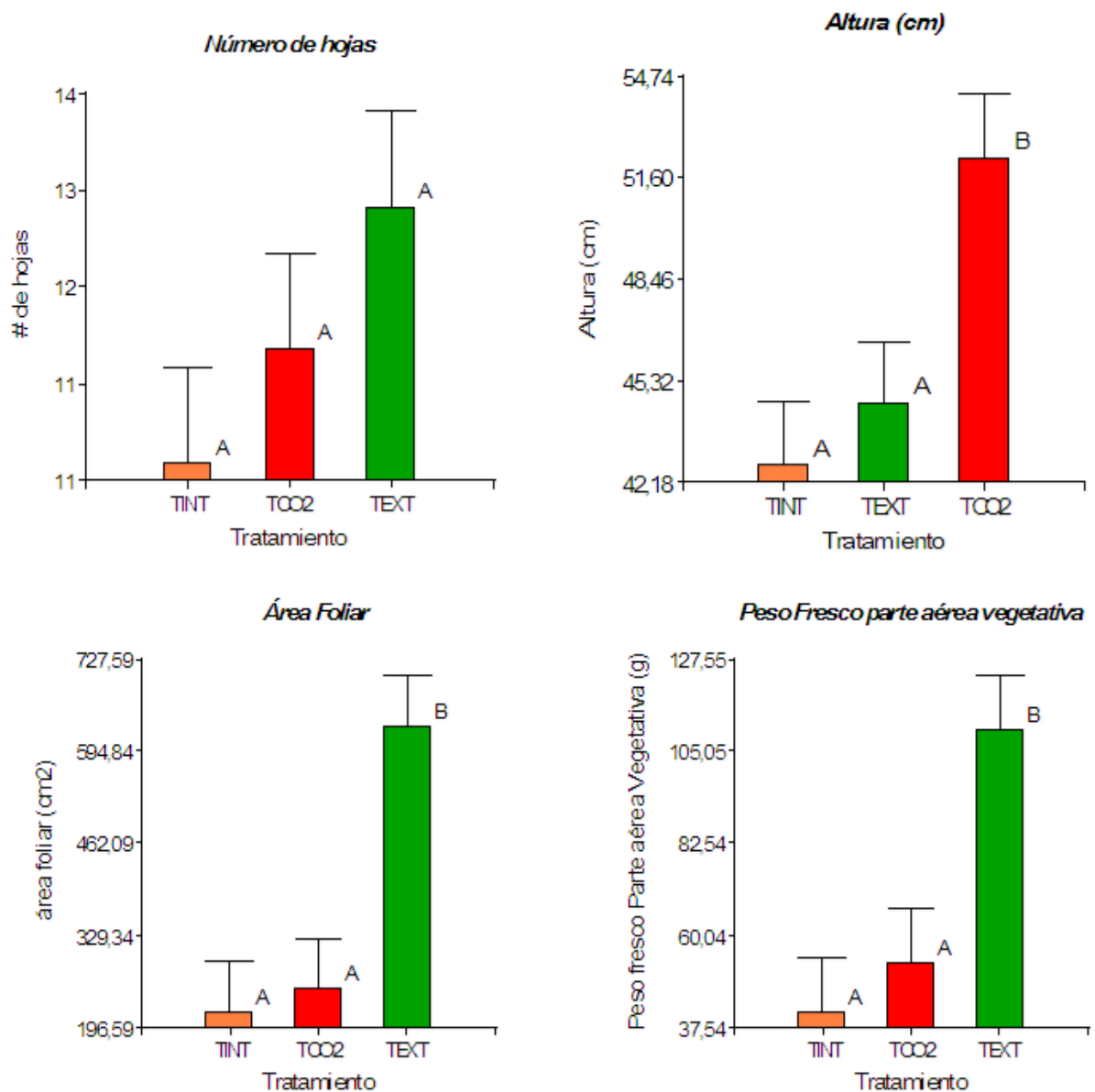


Figura 15: Comportamiento de las variables: Número de hojas, Altura de la planta, área Foliar y peso fresco de la parte aérea vegetativa; 60 ddt. letras distintas indican diferencias significativas con  $\alpha=0,05$ . En la parte superior de cada barra (que representa el promedio) la desviación estándar respectiva para el tratamiento.

En la figura 15, se observa que las altas concentraciones de  $\text{CO}_2$  ocasionaron una altura 17% mayor con respecto a el testigo, ya que TEXT (como testigo Exterior) obtuvo un promedio de 44,63 y TINT (como testigo interior) obtuvo un promedio de 42,75, mientras que TCO2 obtuvo 52,25 cm; los resultados obtenidos por Leskovar (2001) aseguran que en

tomate el alto CO<sub>2</sub>, aumenta la biomasa sin afectar el número de hojas y tallos, ni la altura, sin embargo, estos resultados contradicen esta información al causar una mayor altura, sin afectar la biomasa (cuando se comparan los tratamientos dentro del umbráculo), no obstante hay coincidencia en que no se ve afectado el número de hojas.

El tratamiento que mayor biomasa y área foliar obtuvo es el testigo exterior TEXT, esta diferencia puede deberse a un factor de mayor temperaturas en los tratamientos de umbráculo (TINT y TCO2).

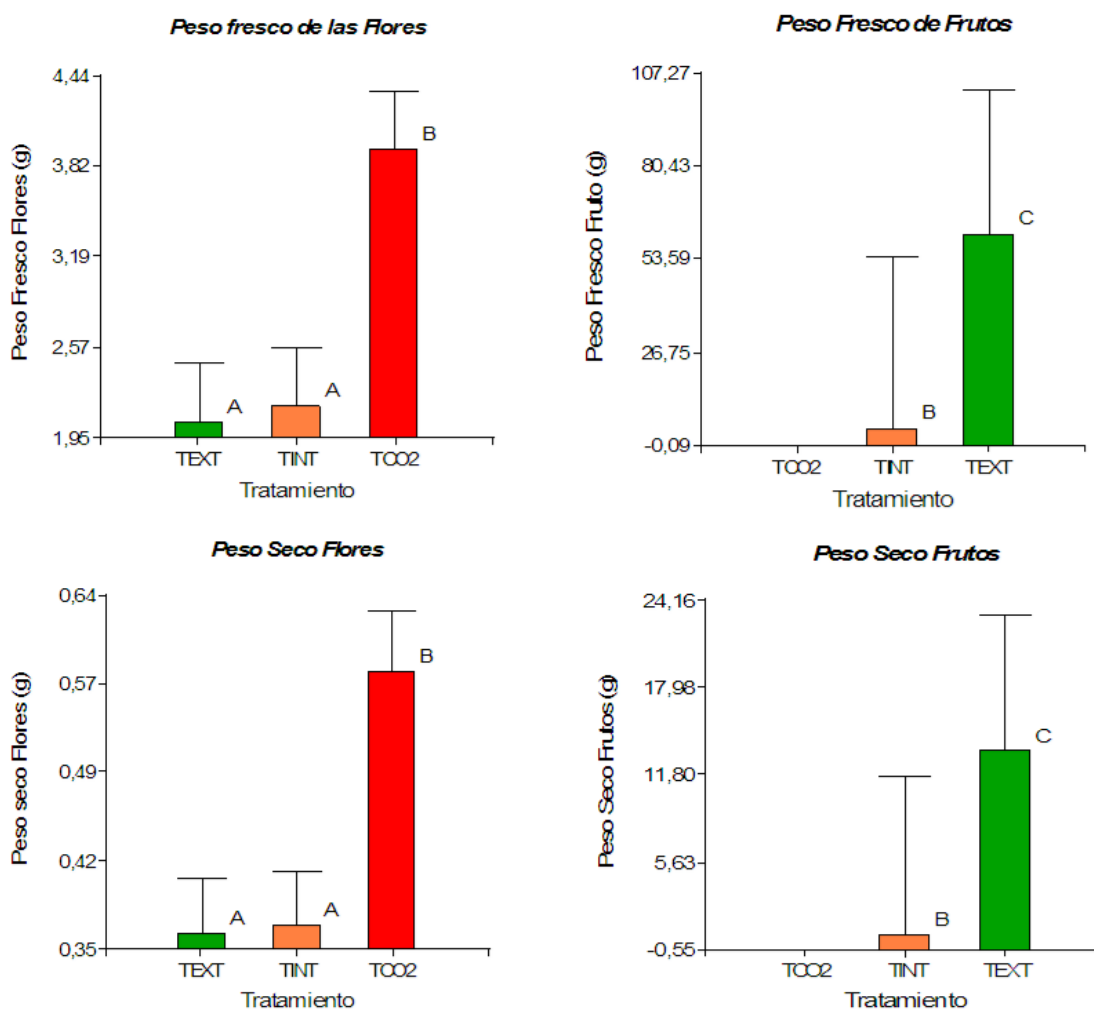


Figura 16: comportamiento de las variables: Peso fresco y seco de las flores, peso fresco y seco de frutos; 60 ddt. Letras distintas indican diferencias significativas con  $\alpha=0,05$ . En la parte superior de cada barra (que representa el promedio) la desviación estándar respectiva para el tratamiento.

En lo que respecta a la biomasa de las flores, la figura 16 muestra que, el tratamiento con alto CO<sub>2</sub> obtuvo mayor peso seco y fresco, siendo 81% y 56 % más pesadas, respectivamente; sin embargo, no se observa desarrollo del fruto en TCO<sub>2</sub> y muy poco desarrollo en TINT, mientras que TEXT, mostró mayores rendimientos. Estas diferencias probablemente se deban a factores relacionados con la temperatura y el tiempo de exposición de las plantas a temperaturas superiores a 26 °C, que según sugiere Rodríguez (2013), por encima de ese valor se altera la síntesis y acumulación de azúcares, provocando una disminución en la tasa de llenado de fruto y maduración de los mismos.

En el anexo 4 se resumen las diferencias encontradas a los 60 ddt, entre TCO<sub>2</sub> y el resto de los tratamientos; donde el símbolo positivo (+), indica que hubo un aumento significativo, el símbolo negativo (-) indica disminución y la cifra siguiente indica el porcentaje en el cual se registró el cambio, mientras que el signo de igualdad (=) indica que no hubo diferencias significativas.

#### d) Comportamiento del cultivo de tomate 90 ddt.

En las figuras 17, 18 y 19 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de media de Duncan, para las variables evaluadas a los 90 días después de trasplante.

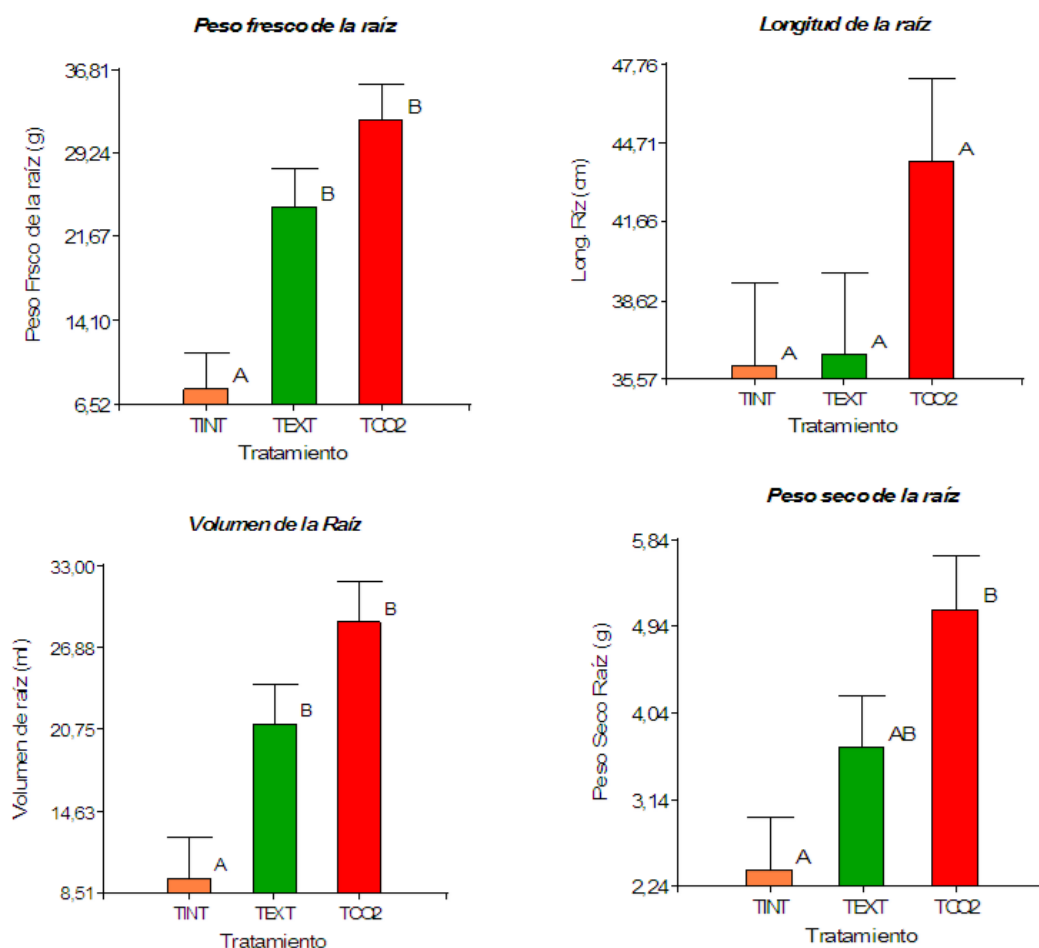


Figura 17: comportamiento de las variables: peso fresco de la raíz, longitud de la raíz, volumen de la raíz y peso seco de la raíz. 90 ddt ; Letras distintas indican diferencias significativas con  $\alpha=0,05$ . En la parte superior de cada barra (que representa el promedio) la desviación estándar respectiva para el tratamiento.

En la figura 17, se puede observar que aunque no hubo diferencias significativas entre la longitud de la raíz, el resto de las variables indican que hubo un mayor desarrollo radical en TEXT y TCO2, con respecto a TINT, esto es significativo, ya que TINT tenía las mismas condiciones de temperatura que TCO2, es decir, las diferencias observadas son atribuibles al CO<sub>2</sub>. El tratamiento TCO2 superó en 300% el peso fresco de la raíz de TINT,

mientras que el volumen fue 200% mayor y para el peso seco de las raíces fueron 113 % superiores las del tratamiento con alto CO<sub>2</sub>. Estos resultados concuerdan con los obtenidos a los 60 ddt, con excepción de la longitud de las raíces.

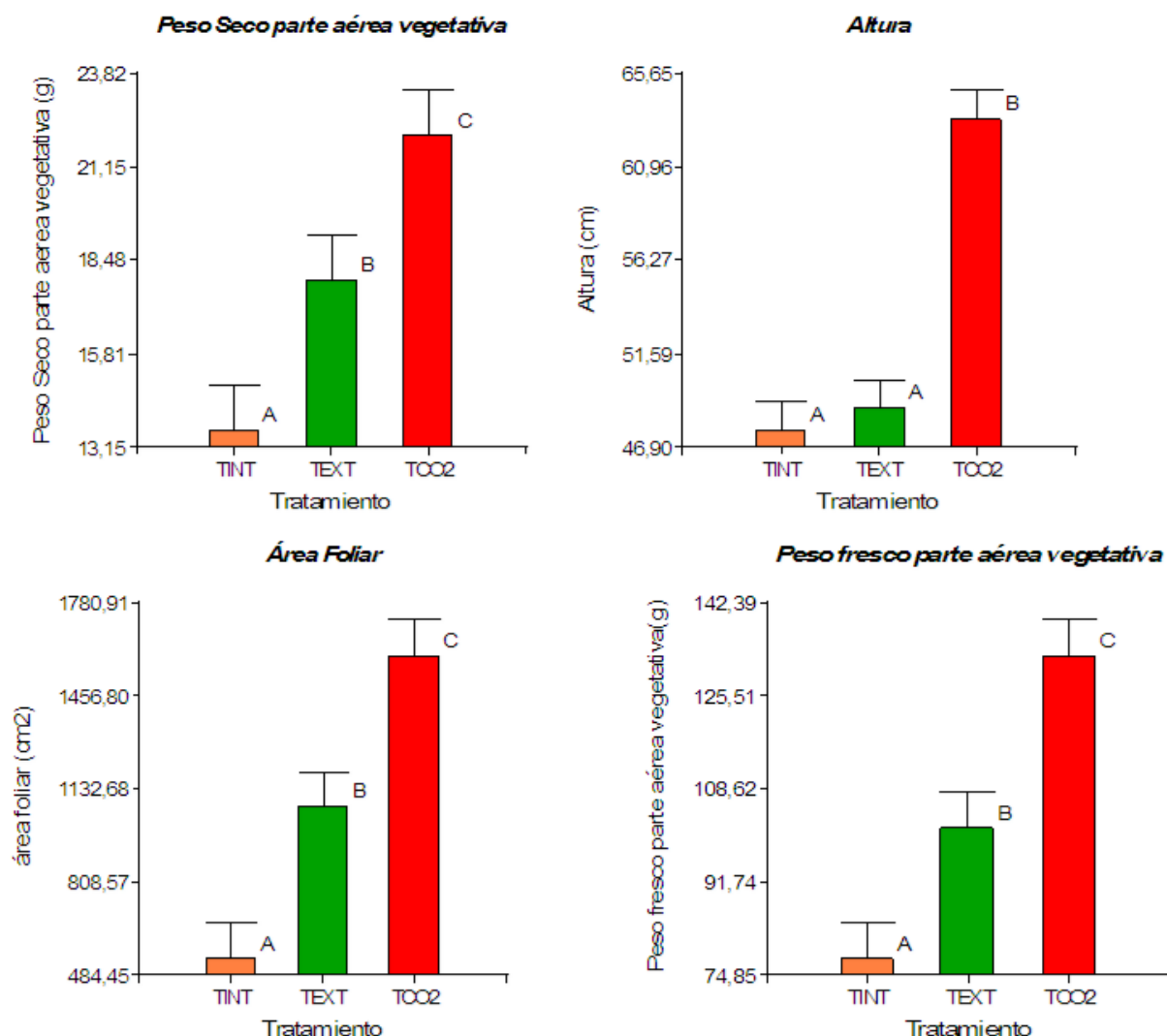


Figura 18: comportamiento de las variables: Peso seco de la parte aérea vegetativa, Altura de la planta, área Foliar y peso fresco de la parte aérea vegetativa; 90 ddt. Letras distintas indican diferencias significativas con  $\alpha=0,05$ . En la parte superior de cada barra (que representa el promedio) la desviación estándar respectiva para el tratamiento.

En la figura 18, se hace evidente que las variables concernientes a la parte aérea vegetativa, presentan mayor desarrollo en el tratamiento con alto CO<sub>2</sub>. Esta diferencia es de 32 % para

el caso de la Altura, para el área foliar 49% más, comparada con TEXT y 193% con respecto a TINT. En cuanto al peso fresco y seco de la parte aérea vegetativa, TCO<sub>2</sub> superó a TINT en un 70% y a TEXT en 30%, esto para el caso de materia fresca, mientras que el peso seco TCO<sub>2</sub> supera a TINT en 61% y en 23% a TEXT. Mientras que el número de hojas resultó sin diferencias significativas entre los tratamientos. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Sánchez *et al.* (2000), quienes en frijol consiguieron que se incrementara el número de hojas, al someter las plantas a ambientes con concentraciones altas de CO<sub>2</sub> y es este aumento en el número de estructuras lo que conlleva al aumento en la biomasa; por otro lado, Leskovar (2001), encontró resultados en tomate mucho más acordes a los obtenidos en este estudio, donde sin afectar el número de estructuras se obtuvo mayor biomasa, con la salvedad que este autor no reporta ningún cambio en la altura de las plantas, quizás difiera en este aspecto debido a que los estudios se realizaron en distintas etapas fenológicas del cultivo.

En cuanto a las estructuras reproductivas (flores y frutos), los resultados obtenidos (figura 19) son muy similares a los observados a los 60 ddt, con un mayor peso de las flores en el ambiente enriquecido con CO<sub>2</sub> y un menor peso de los frutos, pero en este caso no logró separarse del tratamiento TINT, esto pudiera ser la confirmación que la afectación de la fructificación y la menor producción se debe a factores de altas temperaturas dentro del umbráculo, que en promedio resultó 2 °C por encima de las temperaturas registradas fuera del umbráculo.

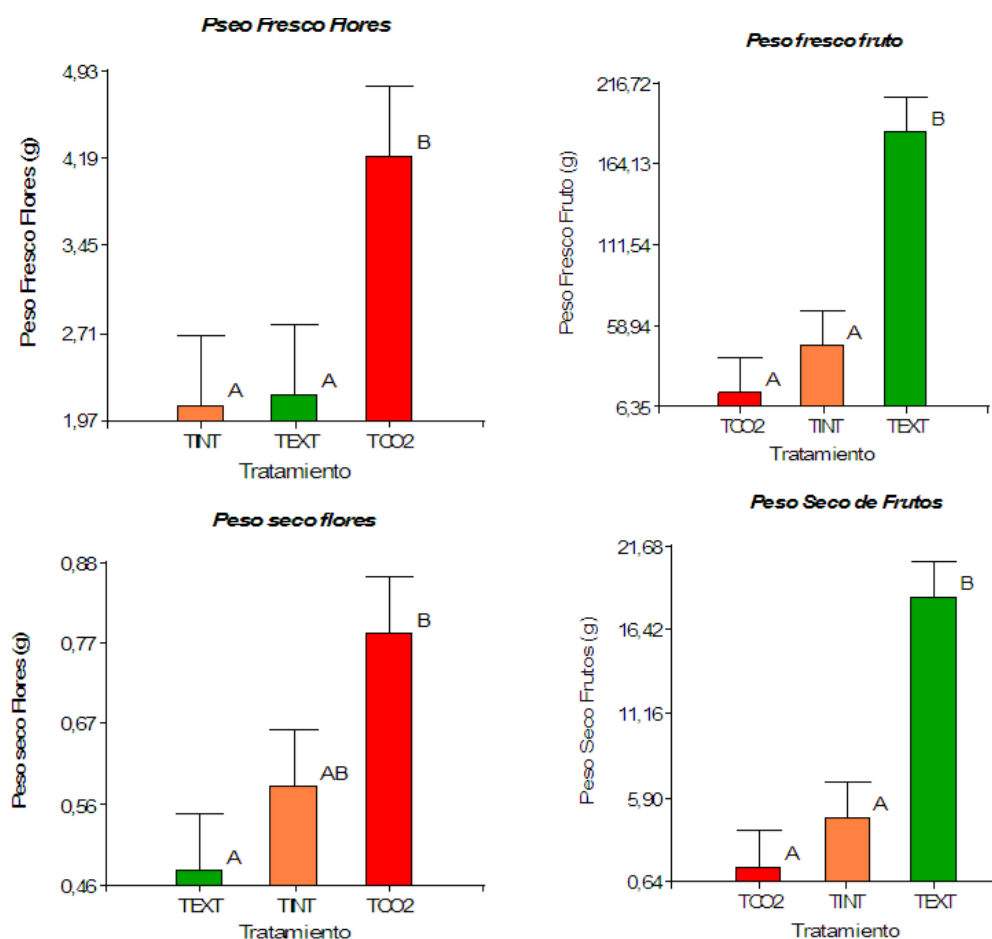


Figura 19: comportamiento de las variables: Peso fresco y seco de las flores, peso fresco y seco de frutos; 90 ddt. Letras distintas indican diferencias significativas con  $\alpha=0,05$ . En la parte superior de cada barra (que representa el promedio) la desviación estándar respectiva para el tratamiento.

En el Anexo 5 se resumen las diferencias encontradas a los 60 ddt, entre TCO2 y el resto de los tratamientos; donde el símbolo positivo (+), indica que hubo un aumento significativo, el símbolo negativo (-) indica disminución y la cifra siguiente indica el porcentaje en el cual se registró el cambio, mientras que el signo de igualdad (=) indica que no hubo diferencias significativas.

### 4.3. Comportamiento Ecofisiológico:

El comportamiento fisiológico del cultivo de tomate fue, tal como se esperaba, ya que se observó mayores tasas fotosintéticas ( $P_n$ ) en el tratamiento con altas concentraciones de  $CO_2$ , como se observa en la figura 20.

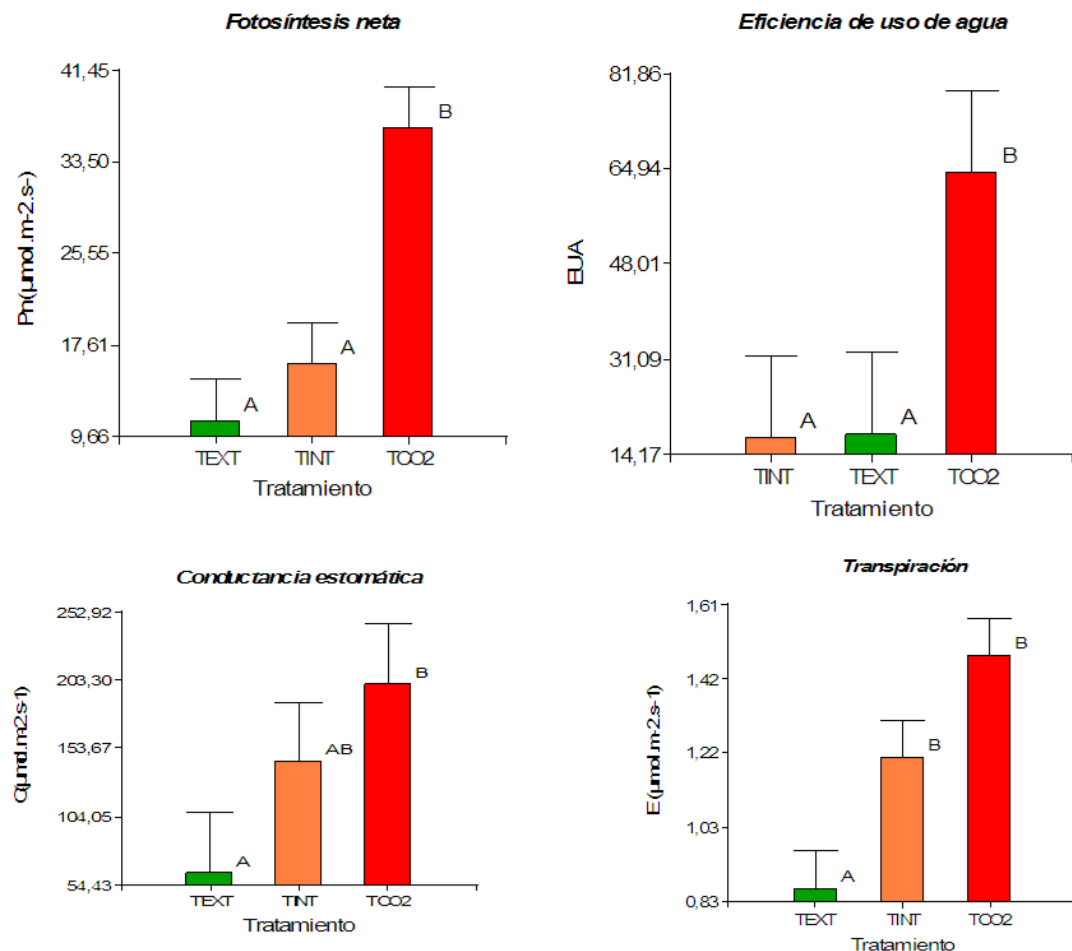


Figura 20: Promedios durante el ciclo del cultivo de la tasa fotosintética ( $P_n$ ;  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), transpiración (E;  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), conductancia estomática (C;  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) y eficiencia de uso de agua (EUA), para los distintos tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos con  $\alpha=0,05$ . Valores medidos a las 9 am, 3 veces a la semana.

En la figura 20, se muestra que el tratamiento TCO<sub>2</sub> fue significativamente superior la tasa fotosintética ( $P < 0,0001$ ), mientras que TEXT y TINT son estadísticamente iguales. El incremento fue de 127% con respecto a TINT y de 227 % con TEXT. Estos resultados concuerdan con los reportados por Sánchez *et al.* (2000), quienes para frijol encontraron una mayor tasa fotosintética en ambientes con alto CO<sub>2</sub>, esto porque, se encuentra en la atmosfera una mayor disponibilidad de fuente de carbono para sintetizar azúcar, y la planta de tomate al igual que el cultivo de frijol tiene metabolismo C<sub>3</sub>, por ello posee como enzima encargada de captación de carbono la RuBisCO, la cual es afín a CO<sub>2</sub> y al O<sub>2</sub>, por ello es muy sensible a cambios en las concentraciones atmosféricas de estos gases. Otro de los resultados que se corresponden con los obtenidos en el presente trabajo son los recabados por Herrera *et al* (2001), quienes reportan que la tasa fotosintética es mayor en plantas C<sub>3</sub> tratadas con alto CO<sub>2</sub> y es más alto en las primeras semanas del cultivo, disminuyendo las semanas siguientes, esta última afirmación se evidencia en la figura 21. Esto puede ser explicado por un fenómeno fisiológico que ocurre en plantas sometidas a CO<sub>2</sub> por periodos prolongados denominado aclimatación fotosintética (Azcón *et al.* 2008), que se produce por un aumento en las concentraciones de la relación C/N que puede afectar la síntesis de enzimas claves para la fotosíntesis, como la RuBisCO. Estos autores señalan que se debe a la acumulación de hexosas que pudieran estar asociadas con una inhibición en el proceso de transcripción de genes fotosintéticos o bien inferir en el ensamblaje de subunidades de la rubisco.

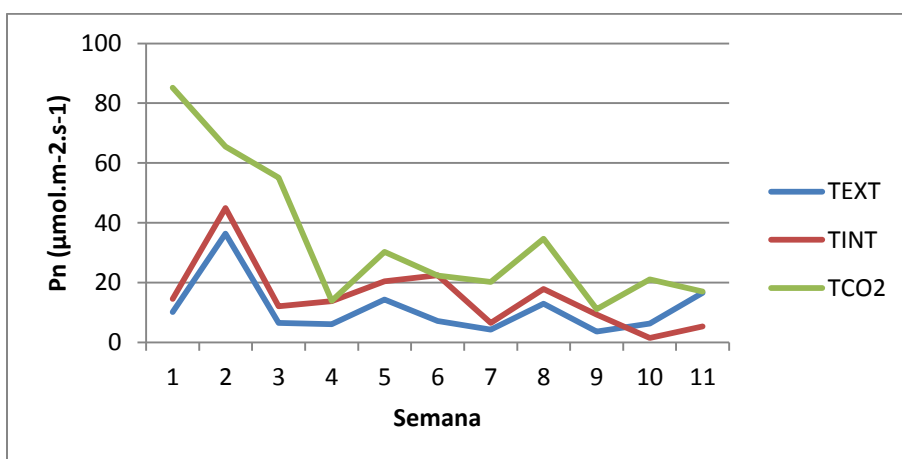


Figura 21: Comportamiento promedio semanal de la tasa fotosintética durante las semanas de realización del ensayo. Valores medidos a las 9 am, 3 veces a la semana.

En cuanto a la transpiración, en la figura 20 se muestra que fue mayor en los tratamientos en condiciones de umbráculo. Es evidente que se distinguen dos grupos, uno conformado por las plantas TEXT y el otro conformado por los tratamientos dentro del umbráculo (TINT y TCO<sub>2</sub>), estos resultados están en discrepancia con los obtenidos por Sánchez *et al.* (2000), los cuales consiguieron una menor transpiración en el ambiente enriquecido con CO<sub>2</sub>, sin embargo en este estudio no se describe el comportamiento de la temperatura, que en este caso pudo haber sido el factor determinante para que se presentara mayor transpiración en TINT y TCO<sub>2</sub>, ya que estos dos tratamientos difieren con TEXT por las condiciones de altas temperaturas generadas por el plástico del umbráculo; recordemos que el mecanismo de las plantas para disipar calor y controlar su temperatura es a través de la transpiración (Leskovar, 2001). También el déficit de saturación significativamente mayor dentro del umbráculo favorece una mayor tasa transpiratoria.

En concordancia con estos resultados tenemos que la conductancia estomática presentó mayores valores en los tratamientos TINT y TCO<sub>2</sub>. Según Sánchez *et al.* (2000), el efecto de las altas concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, provoca una inhibición en la conductancia estomática, lo que es igual a una reducción en la capacidad de intercambio gaseoso con la atmosfera y presentan menor transpiración. Sin embargo, como ya se mencionó las altas temperaturas ocasionaron un incremento en la capacidad de captar vapor de agua en la atmosfera del umbráculo, permitiendo que se transpirara más en estas condiciones, además, que las plantas estaban sometidas a altas temperaturas que pudieron generar una mayor necesidad de disipar calor mediante la transpiración.

La eficiencia de uso de agua, resultó significativamente mayor para TCO<sub>2</sub>, impulsado por una mayor tasa fotosintética, debido a que las plantas tuvieron que utilizar mayor cantidad de agua para disipar calor en los tratamientos de umbráculo; estos resultados difieren con los señalados por Sánchez *et al.* (2000), quien consiguió que la EUA mayor en las plantas sometidas a atmosferas con alto CO<sub>2</sub>, por menos transpiración y mayor Pn.

Los tratamientos TEXT y TINT tuvieron una EUA muy similar de 17,24 y 17,64, mientras que TCO<sub>2</sub>, presentó una media de 64,24, simbolizando que por cada 64, 24 unidades de fotosíntesis se consume una unidad de agua. Esto convierte a las plantas tratadas con CO<sub>2</sub>

mucho más eficientes en el uso de agua. El incremento obtenido fue de 2,7 veces la eficiencia de los testigos, superior a los obtenidos por Sánchez *et al.* (2000), quien reporto que se incrementaba un 100%.

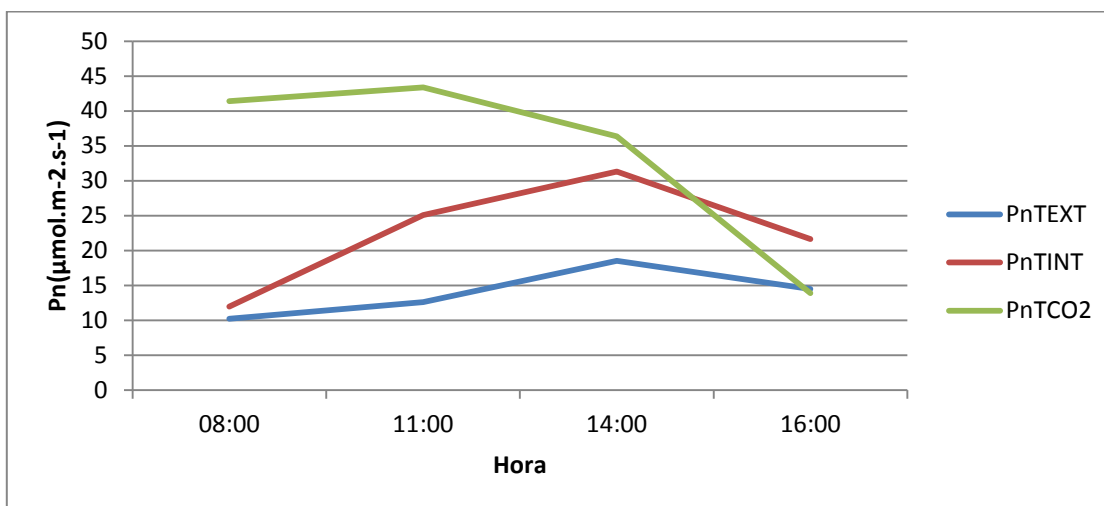


Figura 22: Comportamiento horario de la fotosíntesis. Promedios para el ciclo.

En la figura 22 se observa, que las plantas con atmósfera con elevada concentración de CO<sub>2</sub>, comienza el día con una tasa fotosintética bastante elevada, a diferencia que los tratamientos con condiciones de CO<sub>2</sub> convencionales, que comienzan con bajas tasas fotosintéticas, sin embargo, la tendencia en los tres tratamientos es a incrementarse hasta las once de la mañana, donde TCO2 tiene su tasa máxima, mientras que TINT y TEXT, continúan su incremento hasta las 14:00, donde en los tres tratamientos se presenta un quiebre en la curva, esta quiebre coincide con las horas de máximas temperaturas (ver anexo y además se reduce la radiación. Según el efecto antagonista de la temperatura sobre los procesos biológicos regulados por enzimas, descrito por Rodríguez (2013), en las primeras horas se da un aumento en la radiación y temperatura que llevan a un incremento en la tasa fotosintética, sin embargo cuando las temperaturas incrementan por encima de 30 °C, comienzan a afectar la estructura de las biomoléculas afectando su actividad, esto pudiera explicar este comportamiento en las curvas.

En lo que respecta al contenido de clorofila, el tratamiento que más clorofila presentó es el TCO2, tal como se puede observar en la figura 23, seguido de TINT, quien no logra separarse estadísticamente de TCO2 ni de TEXT, este último con el menor contenido de clorofila. Estos resultados que dejan a los tratamientos de umbráculo en un solo grupo

estadísticamente iguales, y puede deberse a la reducción de la radiación con respecto a TEXT, según Azcón *et al.* (2008), las plantas que crecen con menor cantidad de energía luminosa desarrollan mayor cantidad de clorofila (en especial clorofila b) con la finalidad de ser más eficientes en la captación de radiación.

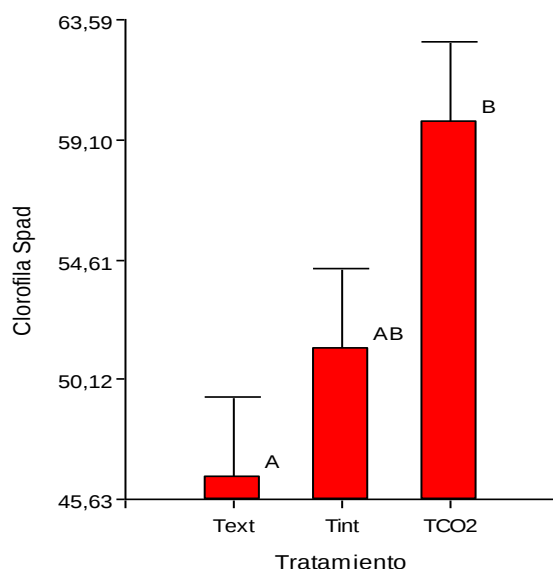


Figura 23: Contenido de clorofila de las plantas en los diferentes tratamientos.

#### 4.4 Análisis de Componentes Principales

En análisis de componentes principales o ACP, es un análisis multivariado que permite agrupar un conjunto de variables que se encuentran muy correlacionadas y crear otras variables que ayuden a explicar los resultados del experimento reduciendo el número de variables medidas. En este sentido, en el anexo 6 se muestra una matriz con los coeficientes de correlación entre cada una de las variables estudiadas. Seguidamente el paquete estadístico agrupa en componente principales y determina que proporción de la varianza está explicada por cada uno de estos componentes principales. En este caso los primeros 2 componentes principales explican el 70% de la variabilidad de los datos para Text, el 77% para TINT y el 83% para TCO2 (ver anexo 7 para consultar estas tablas), por ello se procedió a analizar los dos primeros componentes principales de cada tratamiento.

Cuadro 7: Matriz de coeficientes de correlación entre las variables evaluadas y los componentes principales (CP).

| Variables      | TEXT  |       | TINT  |       | TCO2  |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                | CP 1  | CP 2  | CP 1  | CP 2  | CP 1  | CP 2  |
| [CO2] (ppm)    | 0,82  | -0,32 | 0,77  | 0,1   | 0,76  | 0,25  |
| TEMP. MED (°C) | 0,58  | 0,78  | -0,2  | 0,96  | -0,5  | 0,84  |
| TEMP.MAX (°C)  | 0,63  | 0,63  | 0,04  | 0,9   | -0,32 | 0,78  |
| Temp. Min (°C) | 0,24  | 0,81  | -0,53 | 0,71  | -0,6  | 0,69  |
| HR med (%)     | -0,45 | -0,79 | 0,38  | -0,9  | 0,42  | -0,82 |
| Altura (cm)    | 0,85  | -0,41 | 0,88  | 0,31  | 0,92  | 0,34  |
| # hojas        | 0,56  | -0,55 | 0,89  | -0,01 | 0,94  | 0,11  |
| # Flores       | 0,47  | 0,1   | 0,92  | 0,07  | 0,94  | 0,1   |
| #frutos        | 0,66  | -0,6  | 0,88  | 0,19  | 0,86  | 0,23  |
| Fotosíntesis   | -0,62 | 0,08  | -0,76 | -0,1  | -0,79 | -0,28 |
| EUA            | -0,82 | 0,11  | -0,47 | -0,48 | -0,65 | -0,48 |

Celdas resaltadas indican aquellas correlaciones que fueron consideradas relevantes para las conclusiones.

En el cuadro 8, se observa que el componente principal 1 (CP 1) está conformado por las variables biométricas (altura, numero de hojas, numero de flores y número de frutos), en conjunto con las concentraciones de CO<sub>2</sub>, es decir, a medida que las concentraciones de CO<sub>2</sub> aumenta, también lo hace las variables biométricas comportándose como una sola variable, este primer componente afecta negativamente la fotosíntesis y la EUA, esto último es contradictorio, ya que si hay mayor desarrollo vegetal, se esperaría igual comportamiento de la fotosíntesis, como proceso fisiológico que conlleva al mayor desarrollo.

Estos resultados indican que las semanas que se presentaron mayores valores de CO<sub>2</sub> atmosféricos la tasa fotosintética fue menor, que aquellas semanas en que las concentraciones ambientales fueron menores, en cuyo caso se encontraron mayores valores

de fotosíntesis. Este comportamiento puede ser explicado por dos hipótesis: la primera de ella es que, aquellas veces en que las plantas presentaban mayores tasas fotosintéticas, se encontraban utilizando una gran cantidad de  $\text{CO}_2$  atmosférico, disminuyendo con ello las concentraciones de este gas en el ambiente.

La segunda hipótesis corresponde a un fenómeno que ocurre en las plantas C3, conocido como fotorrespiración, el cual no es otra cosa que la reacción de la RUBP con el oxígeno y la rubisco, que luego de una serie de reacciones bioquímicas resulta en la liberación de  $\text{CO}_2$  (Salisbury y Ross, 1994), estos mismos autores señalan que este proceso de respiración es entre dos y tres veces más intenso que el proceso normal de respiración ocurrido en la mitocondria. La fotorrespiración entonces, involucra la misma enzima responsable de la fotosíntesis (Rubisco) que estará ocupada por oxígeno, disminuyendo la intensidad de este proceso; y a su vez es un genera más moléculas de  $\text{CO}_2$ .

EL CP 2, incluye las temperaturas, que como es lógico pensar influye negativamente en la humedad relativa. Como ya se ha explicado en ocasiones anteriores, la temperatura modifica la capacidad del aire de contener moléculas de vapor de agua, sin llegar a la saturación. Por otro lado en los tratamientos TINT y  $\text{TCO}_2$ , las temperaturas están inversamente asociadas con la EUA, y no poseen gran interacción con la fotosíntesis, esto, es la confirmación que fueron las temperaturas, las que llevaron a una mayor tasa transpiratoria dentro del umbráculo, por mayor déficit de saturación y disipación de calor.

### **Conclusiones:**

El umbráculo, por efecto del plástico, provocó mayores temperaturas allí dentro, que en promedio estuvieron cerca de 3 °C por encima del testigo a campo abierto, por otro lado, las concentraciones de CO<sub>2</sub> fueron de 423 ppm en la atmosfera enriquecida con CO<sub>2</sub> en contraste con los 408 ppm y 411 registrados en TEXT y TINT, respectivamente. Además, TEXT, TINT y TCO<sub>2</sub>, tuvieron una diferencia de 1 hora entre ellos, en lo concerniente a exposición a temperaturas superiores a 26°C, siendo TEXT el que estuvo sometido menor tiempo y TCO<sub>2</sub> a mayor tiempo de exposición, esto pudiera estar afectando el llenado y maduración.

Los tratamientos dentro del umbráculo registraron un retraso en los procesos fenológicos del cultivo, especialmente en la etapa de fructificación, donde el llenado del fruto y la maduración se prolongó, este retraso fue más evidente en TCO<sub>2</sub>.

Las elevadas concentraciones de dióxido de carbono, promovió un mayor desarrollo vegetativo en las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*), observando mayor desarrollo de raíces, en la primeras fases del cultivo y mayor crecimiento de la parte aérea hacia finales del ciclo, sin que esto se tradujera en mayor producción de frutos. La altura de las plantas fue la variable que mostró un constante incremento durante todo el ciclo para TCO<sub>2</sub>.

A pesar que fisiológicamente las plantas mostraron mejor respuesta en el tratamiento con alto CO<sub>2</sub>, las temperaturas elevadas y el mayor tiempo de exposición a estas, limitaron el potencial productivo de las plantas.

### **Recomendaciones:**

Realizar otros estudios donde se controlen las temperaturas, así como el tiempo de exposición a las temperaturas críticas (26 °C, 30°C y 32 °C), para discriminar el efecto de estas variables sobre la fenología y la producción de la variedad evaluada en este ensayo (ALBA), además se recomienda repetir estos estudios con otros materiales genéticos.

Evaluar el comportamiento fisiológico, fenológico y productivo del tomate, a través de otros ensayos, que consideren distintas concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico, bajo condiciones de temperatura similares para cada tratamiento y así discriminar el efecto de este factor.

## Referencias Bibliográficas

Azcón, J.; Fleck, I.; Aranda, X.; Gomez, N. (2008). Fotosíntesis, Factores ambientales y cambio climático. En: Azcón, J.; Talón, M.; Eds. Fundamentos de Fisiología Vegetal; Segunda edición. Mc Graw Hill Interamericana. Madrid, España. 17p.

Betancourt, P; Pierre, F. 2013. Extracción De Macronutrientes Por El Cultivo De Tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. Var. Alba) En Casa De Cultivo En Quibor, Estado Lara. Bioagro (Venezuela) 25(3): 181-188.

Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios, FEDEAGRO, Venezuela. 2013. Base de Datos de Estadísticas de Producción Agropecuaria (en Línea). Caracas, Venezuela. Consultado 12 de Jul. de 2014. Disponible en <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp>

Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Publicado para la Secretaria de la CMNUCC por la oficina de Información del PNUMA sobre las Convenciones Ambientales (1992). 30p.

Herrera, A.; Fernández, D.; Rengifo, E.; Tezara W. 2001. Efecto De La Concentración Elevada De CO<sub>2</sub> Sobre La Fotosíntesis En Especies Tropicales. Interciencia (Venezuela) 26(10):469-471.

Delatorre, L. 2001. Factores Ambientales que afectan la Fotosíntesis. In Rwson, H. y Gómez, H. Trigo Regado. Fao. Roma, Italia. (en línea). Consultado el 14 de oct. de 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s08.htm>

Hidalgo P. y González R. 2005?. Manual Práctico Para la Producción de Semilla artesanal de Tomate. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. 15 p.(Serie Manuales de Cultivo No.2).

Instituto Nacional de Estadísticas, INE, Venezuela. 2014. Encuesta de Seguimiento al Consumo de Alimentos: Cuadro 5.Venezuela, Consumo aparente per cápita según producto durante 2011-2012(En línea). Consultado 14 de Jul. de 2014. Disponible en: [http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com\\_content&id=534&Itemid=38;tmpl=component](http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com_content&id=534&Itemid=38;tmpl=component)

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA. 2005. El Cultivo de Hortalizas en Venezuela: Serie de Manuales N° 2. [Equipo de redacción principal: Díaz, R. y Romero, A.].Caracas, Venezuela, 192 págs.

Intergovernmental Panel onClimateChange, IPCC. 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

Intergovernmental Panel onClimateChange, IPCC. 2013: Cambio climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al quinto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal:Stocker, T. y Qin, Dahe(directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 34 págs.

Jarma, A.; Cardona, A.; Aramendiz, H.2012. Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas: una revisión. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia) 15(1): 63 – 76.

Jasafad, S.; Mendoza, M. ; Borrego, F. 1998. Evaluación del tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos.

Leskovar, D. 2001. Producción y Ecofisiología del trasplante hortícola. Texas, USA.

MARN; PNUD. 2005. Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela (PCNCCV).[Equipo de redacción Principal: Roa, R; Díaz, J. y Gil, L. (directores del Proyecto)].Caracas, Venezuela, 164 págs.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. 2009. Perfil para el Cambio Climático (en línea). Consultado 12 de Jul. de 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/i1323s/i1323s00.htm>

Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2014 a. Comunicado de prensa N° 991: Las concentraciones de CO<sub>2</sub> superan 400 partes por millón en todo el hemisferio norte. (Disponible en: [http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/pr\\_991\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_991_es.html)).

Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2014 b. Boletín de la OMM sobre Gases de Efecto Invernadero: Estado de gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2013. No. 10.

Pérez, J.; Hurtado, G.; Aparicio, V.; Argueta, Q.; Larín, M. 2001. Guía técnica: Cultivo de Tomate. El Salvador, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). 48 p.

Rodríguez, R. y Piere, R.; 2008.Evapotranspiración Diaria del Tomate Determinada Mediante un Lisímetro de Pesada. Agronomía Trop. (Venezuela) 58(1):73-76.

Salisbury, F. B. y Ross C. W., 1994. Fisiología Vegetal. México, Df. Grupo Editorial Iberoamérica. 759 p.

Rodríguez, W.; 2013. Evaluación Agronómica y Fisiológica del Cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum*): Influencia del sistema del cultivo en condiciones salinas y de manejo de riego con altas temperaturas medioambientales. Trabajo de Grado Doctoral. Orihuela, España. Universidad Miguel Hernández de Elche.

Restrepo, E.; Vallejo, F.; Lobo, M. 2008. Fenología de la floración entomate cultivado y especies silvestres relacionadas. *Acta Agron. (Palmira) (Colombia)* 57(2):89-93.

Salisbury, F. B. y Ross C. W., 1994. *Fisiología Vegetal*. México, Df. Grupo Editorial Iberoamérica. 759 p.

Sánchez, P.; Larque, A.; Nava, T.; Trejo C. 2000. Respuesta De Plantas De Maíz Y Frijol Al Enriquecimiento De Dióxido De Carbono. *Agrociencia (México)* 34(1):311-320.

Sánchez, F. 2010. *Evapotranspiración*. Salamanca, España. Universidad de Salamanca.

Yzarra, W.; López, F. 2001. *Manual de observaciones fenológicas*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidronogía. Lima, Perú. 99p.

## ANEXOS.

Anexo 1:Cuadro resumen del comportamiento promedio semanal de las variables microclimáticas.

| Tratamiento | Semana     | v (hPa) | V (hPa) | [CO <sub>2</sub> ] (ppm) | EMP. MED (°C) | EMP. MAX (°C) | Temp. Min (°C) | HR med (%) | Ds (hPa) |
|-------------|------------|---------|---------|--------------------------|---------------|---------------|----------------|------------|----------|
| TEXT        | 1          | 21,5    | 33,7    | 380,3                    | 27,0          | 37,8          | 18,0           | 63,8       | 12,2     |
|             | 2          | 23,7    | 34,3    | 390,0                    | 27,3          | 36,6          | 21,0           | 69,1       | 10,6     |
|             | 3          | 22,9    | 35,6    | 395,7                    | 27,9          | 37,5          | 21,0           | 64,4       | 12,7     |
|             | 4          | 24,9    | 33,3    | 396,6                    | 26,8          | 37,1          | 20,3           | 74,8       | 8,4      |
|             | 5          | 23,7    | 35,0    | 400,6                    | 27,6          | 37,4          | 20,2           | 67,6       | 11,3     |
|             | 6          | 19,7    | 37,4    | 407,0                    | 28,7          | 39,0          | 17,9           | 52,7       | 17,7     |
|             | 7          | 20,4    | 36,9    | 428,0                    | 28,5          | 37,9          | 19,1           | 55,3       | 16,5     |
|             | 8          | 22,0    | 35,5    | 423,8                    | 27,9          | 36,2          | 20,9           | 62,1       | 13,5     |
|             | 9          | 23,9    | 33,6    | 419,0                    | 26,9          | 36,3          | 21,1           | 71,1       | 9,7      |
|             | 10         | 25,6    | 32,8    | 410,4                    | 26,5          | 35,5          | 21,4           | 77,9       | 7,3      |
|             | 11         | 23,6    | 33,6    | 418,8                    | 27,0          | 35,6          | 19,2           | 70,3       | 10,0     |
|             | 12         | 25,4    | 33,6    | 426,2                    | 26,9          | 35,3          | 20,5           | 75,8       | 8,1      |
|             | Promedio   | 23,1    | 34,6    | 408,0                    | 27,4          | 36,8          | 20,0           | 67,1       | 11,5     |
|             | DESV. EST. | 1,9     | 1,5     | 15,5                     | 0,7           | 1,1           | 1,2            | 7,8        | 3,2      |
|             | CV(%)      | 8,1     | 4,3     | 3,8                      | 2,6           | 3,1           | 6,0            | 11,6       | 28,0     |
|             | Max        | 25,6    | 37,4    | 428,0                    | 28,7          | 39,0          | 21,4           | 77,9       | 17,7     |
|             | Min        | 19,7    | 32,8    | 380,3                    | 26,5          | 35,3          | 17,9           | 52,7       | 7,3      |
| TINT        | 1          | 22,5    | 37,9    | 379,5                    | 28,9          | 43,6          | 19,6           | 59,3       | 15,4     |
|             | 2          | 24,1    | 37,8    | 388,3                    | 28,9          | 41,8          | 22,1           | 63,8       | 13,7     |
|             | 3          | 23,8    | 39,2    | 422,0                    | 29,5          | 42,5          | 22,0           | 60,8       | 15,4     |
|             | 4          | 25,2    | 37,3    | 401,8                    | 28,7          | 41,3          | 21,5           | 67,7       | 12,1     |
|             | 5          | 24,5    | 39,5    | 409,8                    | 29,6          | 42,3          | 21,4           | 62,1       | 15,0     |
|             | 6          | 20,7    | 41,9    | 403,0                    | 30,6          | 44,1          | 19,4           | 49,3       | 21,2     |
|             | 7          | 21,4    | 41,0    | 417,8                    | 30,2          | 42,9          | 20,5           | 52,3       | 19,5     |
|             | 8          | 22,6    | 39,7    | 428,8                    | 29,7          | 40,7          | 22,1           | 56,9       | 17,1     |
|             | 9          | 27,2    | 36,7    | 435,4                    | 28,4          | 40,2          | 22,3           | 74,0       | 9,6      |
|             | 10         | 25,9    | 37,0    | 429,4                    | 28,5          | 40,2          | 22,5           | 70,0       | 11,1     |
|             | 11         | 24,7    | 37,7    | 407,8                    | 28,9          | 40,9          | 20,5           | 65,6       | 13,0     |
|             | 12         | 25,3    | 37,7    | 420,2                    | 28,8          | 39,7          | 21,7           | 67,3       | 12,3     |
|             | Promedio   | 24,0    | 38,6    | 412,0                    | 29,2          | 41,7          | 21,3           | 62,4       | 14,6     |
|             | DESV. EST. | 1,9     | 1,6     | 16,9                     | 0,7           | 1,4           | 1,1            | 7,2        | 3,4      |
|             | CV(%)      | 7,9     | 4,2     | 4,1                      | 2,4           | 3,4           | 4,9            | 11,5       | 23,4     |
|             | Max        | 27,2    | 41,9    | 435,4                    | 30,6          | 44,1          | 22,5           | 74,0       | 21,2     |
|             | Min        | 20,7    | 36,7    | 379,5                    | 28,4          | 39,7          | 19,4           | 49,3       | 9,6      |
| TCO2        | 1          | 22,9    | 38,6    | 391,8                    | 29,2          | 44,7          | 19,9           | 59,4       | 15,6     |
|             | 2          | 24,7    | 38,9    | 402,5                    | 29,4          | 43,5          | 22,5           | 63,5       | 14,2     |
|             | 3          | 24,5    | 41,1    | 407,4                    | 30,3          | 44,6          | 22,4           | 59,7       | 16,5     |
|             | 4          | 25,6    | 38,0    | 408,2                    | 29,0          | 41,9          | 21,7           | 67,5       | 12,3     |
|             | 5          | 24,9    | 39,7    | 414,2                    | 29,7          | 42,7          | 22,0           | 62,6       | 14,9     |
|             | 6          | 20,8    | 41,8    | 401,0                    | 30,6          | 42,0          | 19,7           | 49,6       | 21,1     |
|             | 7          | 21,2    | 40,8    | 443,5                    | 30,2          | 43,4          | 20,9           | 52,1       | 19,6     |
|             | 8          | 22,7    | 39,4    | 463,4                    | 29,6          | 41,9          | 22,4           | 57,6       | 16,7     |
|             | 9          | 27,1    | 36,7    | 428,8                    | 28,4          | 41,0          | 22,2           | 73,8       | 9,6      |
|             | 10         | 25,8    | 36,9    | 420,4                    | 28,5          | 39,1          | 21,5           | 69,9       | 11,1     |
|             | 11         | 24,8    | 37,8    | 465,4                    | 28,9          | 40,5          | 22,7           | 65,6       | 13,0     |
|             | 12         | 25,5    | 37,2    | 430,5                    | 28,6          | 41,1          | 22,9           | 68,5       | 11,7     |
|             | Promedio   | 24,2    | 38,9    | 423,1                    | 29,4          | 42,2          | 21,7           | 62,5       | 14,7     |
|             | DESV. EST. | 1,9     | 1,7     | 24,1                     | 0,7           | 1,7           | 1,1            | 7,2        | 3,4      |
|             | CV(%)      | 7,9     | 4,4     | 5,7                      | 2,5           | 4,0           | 4,9            | 11,5       | 23,3     |
|             | Max        | 27,1    | 41,8    | 465,4                    | 30,6          | 44,7          | 22,9           | 73,8       | 21,1     |
|             | Min        | 20,8    | 36,7    | 391,8                    | 28,4          | 39,1          | 19,7           | 49,6       | 9,6      |

## Anexo 2: Frecuencias de exposición (en horas) a temperaturas críticas

Anexo 2.1: tabla de frecuencia de horas en las cuales las temperaturas superaron el umbral para la afectación de la maduración y formación del fruto (26°C, Rodríguez, 2013). Para el tratamiento TEXT.

| Marzo | n | F(%)   | Abril | n  | F(%)   | Mayo | n  | F(%)   | Junio | n  | F(%)   | Julio | n  | F(%)   |
|-------|---|--------|-------|----|--------|------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|
| 13    | 1 | 11,11  | 18    | 1  | 3,33   | 16   | 1  | 3,23   | 15    | 1  | 3,33   | 15    | 1  | 6,67   |
| 13    | 2 | 22,22  | 17    | 2  | 6,67   | 15   | 2  | 6,45   | 14    | 2  | 6,67   | 15    | 2  | 13,33  |
| 12    | 3 | 33,33  | 17    | 3  | 10,00  | 15   | 3  | 9,68   | 14    | 3  | 10,00  | 14    | 3  | 20,00  |
| 11    | 4 | 44,44  | 16    | 4  | 13,33  | 15   | 4  | 12,90  | 14    | 4  | 13,33  | 13    | 4  | 26,67  |
| 11    | 5 | 55,56  | 14    | 5  | 16,67  | 15   | 5  | 16,13  | 13    | 5  | 16,67  | 12    | 5  | 33,33  |
| 11    | 6 | 66,67  | 14    | 6  | 20,00  | 15   | 6  | 19,35  | 13    | 6  | 20,00  | 12    | 6  | 40,00  |
| 11    | 7 | 77,78  | 13    | 7  | 23,33  | 15   | 7  | 22,58  | 12    | 7  | 23,33  | 12    | 7  | 46,67  |
| 10    | 8 | 88,89  | 13    | 8  | 26,67  | 14   | 8  | 25,81  | 12    | 8  | 26,67  | 12    | 8  | 53,33  |
| 10    | 9 | 100,00 | 13    | 9  | 30,00  | 13   | 9  | 29,03  | 12    | 9  | 30,00  | 12    | 9  | 60,00  |
|       |   |        | 12    | 10 | 33,33  | 13   | 10 | 32,26  | 12    | 10 | 33,33  | 12    | 10 | 66,67  |
|       |   |        | 12    | 11 | 36,67  | 13   | 11 | 35,48  | 12    | 11 | 36,67  | 12    | 11 | 73,33  |
|       |   |        | 12    | 12 | 40,00  | 13   | 12 | 38,71  | 12    | 12 | 40,00  | 12    | 12 | 80,00  |
|       |   |        | 12    | 13 | 43,33  | 13   | 13 | 41,94  | 12    | 13 | 43,33  | 12    | 13 | 86,67  |
|       |   |        | 12    | 14 | 46,67  | 13   | 14 | 45,16  | 12    | 14 | 46,67  | 11    | 14 | 93,33  |
|       |   |        | 12    | 15 | 50,00  | 13   | 15 | 48,39  | 12    | 15 | 50,00  | 11    | 15 | 100,00 |
|       |   |        | 12    | 16 | 53,33  | 13   | 16 | 51,61  | 11    | 16 | 53,33  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 17 | 56,67  | 12   | 17 | 54,84  | 11    | 17 | 56,67  |       |    |        |
|       |   |        | 11    | 18 | 60,00  | 12   | 18 | 58,06  | 11    | 18 | 60,00  |       |    |        |
|       |   |        | 11    | 19 | 63,33  | 12   | 19 | 61,29  | 11    | 19 | 63,33  |       |    |        |
|       |   |        | 11    | 20 | 66,67  | 12   | 20 | 64,52  | 11    | 20 | 66,67  |       |    |        |
|       |   |        | 11    | 21 | 70,00  | 12   | 21 | 67,74  | 11    | 21 | 70,00  |       |    |        |
|       |   |        | 11    | 22 | 73,33  | 12   | 22 | 70,97  | 11    | 22 | 73,33  |       |    |        |
|       |   |        | 11    | 23 | 76,67  | 12   | 23 | 74,19  | 11    | 23 | 76,67  |       |    |        |
|       |   |        | 11    | 24 | 80,00  | 12   | 24 | 77,42  | 10    | 24 | 80,00  |       |    |        |
|       |   |        | 10    | 25 | 83,33  | 12   | 25 | 80,65  | 10    | 25 | 83,33  |       |    |        |
|       |   |        | 10    | 26 | 86,67  | 11   | 26 | 83,87  | 9     | 26 | 86,67  |       |    |        |
|       |   |        | 10    | 27 | 90,00  | 11   | 27 | 87,10  | 9     | 27 | 90,00  |       |    |        |
|       |   |        | 10    | 28 | 93,33  | 10   | 28 | 90,32  | 9     | 28 | 93,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 29 | 96,67  | 9    | 29 | 93,55  | 8     | 29 | 96,67  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 30 | 100,00 | 7    | 30 | 96,77  | 8     | 30 | 100,00 |       |    |        |
|       |   |        |       |    |        | 7    | 31 | 100,00 |       |    |        |       |    |        |

Anexo 2.2: tabla de frecuencia de horas en las cuales las temperaturas superaron el umbral para la afectación de la fotosíntesis en tomate (30°C, Rodríguez, 2013). Para el tratamiento TEXT.

| Marzo | n | F(%)   | Abril | n  | F(%)   | Mayo | n  | F(%)   | Junio | n  | F(%)   | Julio | n  | F(%)   |
|-------|---|--------|-------|----|--------|------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|
| 9     | 1 | 11,11  | 11    | 1  | 3,23   | 12   | 1  | 3,33   | 10    | 1  | 3,33   | 10    | 1  | 6,67   |
| 9     | 2 | 22,22  | 11    | 2  | 6,45   | 12   | 2  | 6,67   | 10    | 2  | 6,67   | 10    | 2  | 13,33  |
| 8     | 3 | 33,33  | 11    | 3  | 9,68   | 12   | 3  | 10,00  | 10    | 3  | 10,00  | 10    | 3  | 20,00  |
| 8     | 4 | 44,44  | 10    | 4  | 12,90  | 11   | 4  | 13,33  | 9     | 4  | 13,33  | 10    | 4  | 26,67  |
| 8     | 5 | 55,56  | 10    | 5  | 16,13  | 11   | 5  | 16,67  | 9     | 5  | 16,67  | 10    | 5  | 33,33  |
| 8     | 6 | 66,67  | 10    | 6  | 19,35  | 11   | 6  | 20,00  | 9     | 6  | 20,00  | 9     | 6  | 40,00  |
| 8     | 7 | 77,78  | 10    | 7  | 22,58  | 10   | 7  | 23,33  | 9     | 7  | 23,33  | 9     | 7  | 46,67  |
| 7     | 8 | 88,89  | 10    | 8  | 25,81  | 10   | 8  | 26,67  | 9     | 8  | 26,67  | 9     | 8  | 53,33  |
| 7     | 9 | 100,00 | 9     | 9  | 29,03  | 10   | 9  | 30,00  | 9     | 9  | 30,00  | 9     | 9  | 60,00  |
|       |   |        | 9     | 10 | 32,26  | 10   | 10 | 33,33  | 9     | 10 | 33,33  | 9     | 10 | 66,67  |
|       |   |        | 9     | 11 | 35,48  | 10   | 11 | 36,67  | 9     | 11 | 36,67  | 9     | 11 | 73,33  |
|       |   |        | 9     | 12 | 38,71  | 10   | 12 | 40,00  | 9     | 12 | 40,00  | 9     | 12 | 80,00  |
|       |   |        | 9     | 13 | 41,94  | 10   | 13 | 43,33  | 9     | 13 | 43,33  | 9     | 13 | 86,67  |
|       |   |        | 9     | 14 | 45,16  | 10   | 14 | 46,67  | 9     | 14 | 46,67  | 8     | 14 | 93,33  |
|       |   |        | 9     | 15 | 48,39  | 10   | 15 | 50,00  | 9     | 15 | 50,00  | 8     | 15 | 100,00 |
|       |   |        | 8     | 16 | 51,61  | 10   | 16 | 53,33  | 9     | 16 | 53,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 17 | 54,84  | 10   | 17 | 56,67  | 9     | 17 | 56,67  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 18 | 58,06  | 9    | 18 | 60,00  | 9     | 18 | 60,00  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 19 | 61,29  | 9    | 19 | 63,33  | 9     | 19 | 63,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 20 | 64,52  | 9    | 20 | 66,67  | 8     | 20 | 66,67  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 21 | 67,74  | 9    | 21 | 70,00  | 8     | 21 | 70,00  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 22 | 70,97  | 9    | 22 | 73,33  | 7     | 22 | 73,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 23 | 74,19  | 9    | 23 | 76,67  | 7     | 23 | 76,67  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 24 | 77,42  | 9    | 24 | 80,00  | 7     | 24 | 80,00  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 25 | 80,65  | 8    | 25 | 83,33  | 7     | 25 | 83,33  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 26 | 83,87  | 8    | 26 | 86,67  | 7     | 26 | 86,67  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 27 | 87,10  | 8    | 27 | 90,00  | 6     | 27 | 90,00  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 28 | 90,32  | 7    | 28 | 93,33  | 6     | 28 | 93,33  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 29 | 93,55  | 6    | 29 | 96,67  | 6     | 29 | 96,67  |       |    |        |
|       |   |        | 4     | 30 | 96,77  | 5    | 30 | 100,00 | 3     | 30 | 100,00 |       |    |        |
|       |   |        | 0     | 31 | 100,00 |      |    |        |       |    |        |       |    |        |

Anexo 2.3: tabla de frecuencia de horas en las cuales las temperaturas superaron el umbral para la afectación producir abortos por heterostilia (32°C, Hidalgo y Gonzáles, 2005). Para el tratamiento TEXT.

| Marzo | n | F(%)   | Abril | n  | F(%)   | Mayo | n  | F(%)   | Junio | n  | F(%)   | Julio | n  | F(%)   |
|-------|---|--------|-------|----|--------|------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|
| 8     | 1 | 11,11  | 9     | 1  | 3,33   | 10   | 1  | 3,23   | 9     | 1  | 3,33   | 8     | 1  | 6,67   |
| 8     | 2 | 22,22  | 9     | 2  | 6,67   | 10   | 2  | 6,45   | 9     | 2  | 6,67   | 7     | 2  | 13,33  |
| 7     | 3 | 33,33  | 9     | 3  | 10,00  | 10   | 3  | 9,68   | 8     | 3  | 10,00  | 7     | 3  | 20,00  |
| 7     | 4 | 44,44  | 9     | 4  | 13,33  | 10   | 4  | 12,90  | 8     | 4  | 13,33  | 7     | 4  | 26,67  |
| 7     | 5 | 55,56  | 8     | 5  | 16,67  | 9    | 5  | 16,13  | 8     | 5  | 16,67  | 7     | 5  | 33,33  |
| 7     | 6 | 66,67  | 8     | 6  | 20,00  | 9    | 6  | 19,35  | 8     | 6  | 20,00  | 7     | 6  | 40,00  |
| 7     | 7 | 77,78  | 8     | 7  | 23,33  | 9    | 7  | 22,58  | 8     | 7  | 23,33  | 7     | 7  | 46,67  |
| 7     | 8 | 88,89  | 8     | 8  | 26,67  | 9    | 8  | 25,81  | 8     | 8  | 26,67  | 7     | 8  | 53,33  |
| 7     | 9 | 100,00 | 8     | 9  | 30,00  | 9    | 9  | 29,03  | 8     | 9  | 30,00  | 7     | 9  | 60,00  |
|       |   |        | 8     | 10 | 33,33  | 9    | 10 | 32,26  | 8     | 10 | 33,33  | 7     | 10 | 66,67  |
|       |   |        | 8     | 11 | 36,67  | 9    | 11 | 35,48  | 7     | 11 | 36,67  | 7     | 11 | 73,33  |
|       |   |        | 8     | 12 | 40,00  | 9    | 12 | 38,71  | 7     | 12 | 40,00  | 7     | 12 | 80,00  |
|       |   |        | 8     | 13 | 43,33  | 9    | 13 | 41,94  | 7     | 13 | 43,33  | 6     | 13 | 86,67  |
|       |   |        | 8     | 14 | 46,67  | 9    | 14 | 45,16  | 7     | 14 | 46,67  | 6     | 14 | 93,33  |
|       |   |        | 7     | 15 | 50,00  | 8    | 15 | 48,39  | 7     | 15 | 50,00  | 6     | 15 | 100,00 |
|       |   |        | 7     | 16 | 53,33  | 8    | 16 | 51,61  | 7     | 16 | 53,33  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 17 | 56,67  | 8    | 17 | 54,84  | 6     | 17 | 56,67  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 18 | 60,00  | 8    | 18 | 58,06  | 6     | 18 | 60,00  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 19 | 63,33  | 8    | 19 | 61,29  | 6     | 19 | 63,33  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 20 | 66,67  | 8    | 20 | 64,52  | 5     | 20 | 66,67  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 21 | 70,00  | 8    | 21 | 67,74  | 5     | 21 | 70,00  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 22 | 73,33  | 7    | 22 | 70,97  | 5     | 22 | 73,33  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 23 | 76,67  | 7    | 23 | 74,19  | 5     | 23 | 76,67  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 24 | 80,00  | 7    | 24 | 77,42  | 5     | 24 | 80,00  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 25 | 83,33  | 7    | 25 | 80,65  | 5     | 25 | 83,33  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 26 | 86,67  | 5    | 26 | 83,87  | 4     | 26 | 86,67  |       |    |        |
|       |   |        | 5     | 27 | 90,00  | 5    | 27 | 87,10  | 4     | 27 | 90,00  |       |    |        |
|       |   |        | 4     | 28 | 93,33  | 3    | 28 | 90,32  | 3     | 28 | 93,33  |       |    |        |
|       |   |        | 3     | 29 | 96,67  | 3    | 29 | 93,55  | 3     | 29 | 96,67  |       |    |        |
|       |   |        | 2     | 30 | 100,00 | 3    | 30 | 96,77  | 0     | 30 | 100,00 |       |    |        |
|       |   |        |       |    |        | 0    | 31 | 100,00 |       |    |        |       |    |        |

Anexo 2.4: tabla de frecuencia de horas en las cuales las temperaturas superaron el umbral para la afectación de la maduración y formación del fruto (26°C, Rodríguez, 2013). Para el tratamiento TINT.

| Marzo | n | F(%)   | Abril | n  | F(%)   | Mayo | n  | F(%)   | Junio | n  | F(%)   | Julio | n  | F(%)   |
|-------|---|--------|-------|----|--------|------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|
| 14    | 1 | 11,11  | 20    | 1  | 3,33   | 16   | 1  | 3,23   | 17    | 1  | 3,33   | 16    | 1  | 6,67   |
| 14    | 2 | 22,22  | 16    | 2  | 6,67   | 16   | 2  | 6,45   | 16    | 2  | 6,67   | 16    | 2  | 13,33  |
| 13    | 3 | 33,33  | 16    | 3  | 10,00  | 16   | 3  | 9,68   | 16    | 3  | 10,00  | 16    | 3  | 20,00  |
| 13    | 4 | 44,44  | 16    | 4  | 13,33  | 16   | 4  | 12,90  | 16    | 4  | 13,33  | 15    | 4  | 26,67  |
| 13    | 5 | 55,56  | 16    | 5  | 16,67  | 16   | 5  | 16,13  | 16    | 5  | 16,67  | 14    | 5  | 33,33  |
| 12    | 6 | 66,67  | 15    | 6  | 20,00  | 15   | 6  | 19,35  | 15    | 6  | 20,00  | 14    | 6  | 40,00  |
| 12    | 7 | 77,78  | 15    | 7  | 23,33  | 15   | 7  | 22,58  | 14    | 7  | 23,33  | 14    | 7  | 46,67  |
| 12    | 8 | 88,89  | 15    | 8  | 26,67  | 15   | 8  | 25,81  | 14    | 8  | 26,67  | 13    | 8  | 53,33  |
| 11    | 9 | 100,00 | 15    | 9  | 30,00  | 15   | 9  | 29,03  | 14    | 9  | 30,00  | 13    | 9  | 60,00  |
|       |   |        | 14    | 10 | 33,33  | 15   | 10 | 32,26  | 13    | 10 | 33,33  | 13    | 10 | 66,67  |
|       |   |        | 14    | 11 | 36,67  | 15   | 11 | 35,48  | 13    | 11 | 36,67  | 13    | 11 | 73,33  |
|       |   |        | 14    | 12 | 40,00  | 15   | 12 | 38,71  | 13    | 12 | 40,00  | 12    | 12 | 80,00  |
|       |   |        | 14    | 13 | 43,33  | 15   | 13 | 41,94  | 13    | 13 | 43,33  | 12    | 13 | 86,67  |
|       |   |        | 14    | 14 | 46,67  | 15   | 14 | 45,16  | 13    | 14 | 46,67  | 11    | 14 | 93,33  |
|       |   |        | 13    | 15 | 50,00  | 14   | 15 | 48,39  | 12    | 15 | 50,00  | 11    | 15 | 100,00 |
|       |   |        | 13    | 16 | 53,33  | 14   | 16 | 51,61  | 12    | 16 | 53,33  |       |    |        |
|       |   |        | 13    | 17 | 56,67  | 14   | 17 | 54,84  | 12    | 17 | 56,67  |       |    |        |
|       |   |        | 13    | 18 | 60,00  | 14   | 18 | 58,06  | 12    | 18 | 60,00  |       |    |        |
|       |   |        | 13    | 19 | 63,33  | 14   | 19 | 61,29  | 12    | 19 | 63,33  |       |    |        |
|       |   |        | 13    | 20 | 66,67  | 13   | 20 | 64,52  | 12    | 20 | 66,67  |       |    |        |
|       |   |        | 13    | 21 | 70,00  | 13   | 21 | 67,74  | 12    | 21 | 70,00  |       |    |        |
|       |   |        | 13    | 22 | 73,33  | 13   | 22 | 70,97  | 12    | 22 | 73,33  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 23 | 76,67  | 13   | 23 | 74,19  | 12    | 23 | 76,67  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 24 | 80,00  | 12   | 24 | 77,42  | 11    | 24 | 80,00  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 25 | 83,33  | 12   | 25 | 80,65  | 11    | 25 | 83,33  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 26 | 86,67  | 12   | 26 | 83,87  | 11    | 26 | 86,67  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 27 | 90,00  | 12   | 27 | 87,10  | 11    | 27 | 90,00  |       |    |        |
|       |   |        | 11    | 28 | 93,33  | 10   | 28 | 90,32  | 10    | 28 | 93,33  |       |    |        |
|       |   |        | 10    | 29 | 96,67  | 10   | 29 | 93,55  | 9     | 29 | 96,67  |       |    |        |
|       |   |        | 9     | 30 | 100,00 | 10   | 30 | 96,77  | 9     | 30 | 100,00 |       |    |        |
|       |   |        |       |    |        | 9    | 31 | 100,00 |       |    |        |       |    |        |

Anexo 2.5: tabla de frecuencia de horas en las cuales las temperaturas superaron el umbral para la afectación de la fotosíntesis en tomate (30°C, Rodríguez, 2013). Para el tratamiento TINT.

| Marzo | n | F(%)   | Abril | n  | F(%)   | Mayo | n  | F(%)   | Junio | n  | F(%)   | Julio | n  | F(%)   |
|-------|---|--------|-------|----|--------|------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|
| 9     | 1 | 11,11  | 12    | 1  | 3,33   | 12   | 1  | 3,23   | 10    | 1  | 3,33   | 10    | 1  | 6,67   |
| 9     | 2 | 22,22  | 11    | 2  | 6,67   | 11   | 2  | 6,45   | 10    | 2  | 6,67   | 10    | 2  | 13,33  |
| 8     | 3 | 33,33  | 11    | 3  | 10,00  | 11   | 3  | 9,68   | 10    | 3  | 10,00  | 10    | 3  | 20,00  |
| 8     | 4 | 44,44  | 11    | 4  | 13,33  | 11   | 4  | 12,90  | 9     | 4  | 13,33  | 9     | 4  | 26,67  |
| 8     | 5 | 55,56  | 11    | 5  | 16,67  | 11   | 5  | 16,13  | 9     | 5  | 16,67  | 9     | 5  | 33,33  |
| 8     | 6 | 66,67  | 10    | 6  | 20,00  | 11   | 6  | 19,35  | 9     | 6  | 20,00  | 9     | 6  | 40,00  |
| 8     | 7 | 77,78  | 10    | 7  | 23,33  | 11   | 7  | 22,58  | 9     | 7  | 23,33  | 9     | 7  | 46,67  |
| 7     | 8 | 88,89  | 10    | 8  | 26,67  | 10   | 8  | 25,81  | 9     | 8  | 26,67  | 9     | 8  | 53,33  |
| 7     | 9 | 100,00 | 10    | 9  | 30,00  | 10   | 9  | 29,03  | 9     | 9  | 30,00  | 9     | 9  | 60,00  |
|       |   |        | 9     | 10 | 33,33  | 10   | 10 | 32,26  | 9     | 10 | 33,33  | 9     | 10 | 66,67  |
|       |   |        | 9     | 11 | 36,67  | 10   | 11 | 35,48  | 9     | 11 | 36,67  | 9     | 11 | 73,33  |
|       |   |        | 9     | 12 | 40,00  | 10   | 12 | 38,71  | 9     | 12 | 40,00  | 8     | 12 | 80,00  |
|       |   |        | 9     | 13 | 43,33  | 10   | 13 | 41,94  | 9     | 13 | 43,33  | 7     | 13 | 86,67  |
|       |   |        | 9     | 14 | 46,67  | 10   | 14 | 45,16  | 9     | 14 | 46,67  | 5     | 14 | 93,33  |
|       |   |        | 9     | 15 | 50,00  | 10   | 15 | 48,39  | 9     | 15 | 50,00  | 0     | 15 | 100,00 |
|       |   |        | 9     | 16 | 53,33  | 9    | 16 | 51,61  | 9     | 16 | 53,33  |       |    |        |
|       |   |        | 9     | 17 | 56,67  | 9    | 17 | 54,84  | 9     | 17 | 56,67  |       |    |        |
|       |   |        | 9     | 18 | 60,00  | 9    | 18 | 58,06  | 9     | 18 | 60,00  |       |    |        |
|       |   |        | 9     | 19 | 63,33  | 9    | 19 | 61,29  | 9     | 19 | 63,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 20 | 66,67  | 9    | 20 | 64,52  | 9     | 20 | 66,67  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 21 | 70,00  | 9    | 21 | 67,74  | 8     | 21 | 70,00  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 22 | 73,33  | 9    | 22 | 70,97  | 8     | 22 | 73,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 23 | 76,67  | 9    | 23 | 74,19  | 8     | 23 | 76,67  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 24 | 80,00  | 9    | 24 | 77,42  | 8     | 24 | 80,00  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 25 | 83,33  | 9    | 25 | 80,65  | 8     | 25 | 83,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 26 | 86,67  | 9    | 26 | 83,87  | 8     | 26 | 86,67  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 27 | 90,00  | 9    | 27 | 87,10  | 8     | 27 | 90,00  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 28 | 93,33  | 8    | 28 | 90,32  | 8     | 28 | 93,33  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 29 | 96,67  | 6    | 29 | 93,55  | 6     | 29 | 96,67  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 30 | 100,00 | 6    | 30 | 96,77  | 6     | 30 | 100,00 |       |    |        |
|       |   |        |       |    |        | 3    | 31 | 100,00 |       |    |        |       |    |        |

Anexo 2.6: tabla de frecuencia de horas en las cuales las temperaturas superaron el umbral para la afectación producir abortos por heterostilia (32°C, Hidalgo y Gonzáles, 2005). Para el tratamiento TINT.

| Marzo | n | F(%)   | Abril | n  | F(%)   | Mayo | n  | F(%)   | Junio | n  | F(%)   | Julio | n  | F(%)   |
|-------|---|--------|-------|----|--------|------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|
| 8     | 1 | 11,11  | 9     | 1  | 3,33   | 10   | 1  | 3,23   | 9     | 1  | 3,33   | 9     | 1  | 6,67   |
| 7     | 2 | 22,22  | 9     | 2  | 6,67   | 10   | 2  | 6,45   | 9     | 2  | 6,67   | 9     | 2  | 13,33  |
| 7     | 3 | 33,33  | 9     | 3  | 10,00  | 9    | 3  | 9,68   | 9     | 3  | 10,00  | 8     | 3  | 20,00  |
| 7     | 4 | 44,44  | 9     | 4  | 13,33  | 9    | 4  | 12,90  | 9     | 4  | 13,33  | 8     | 4  | 26,67  |
| 7     | 5 | 55,56  | 9     | 5  | 16,67  | 9    | 5  | 16,13  | 9     | 5  | 16,67  | 8     | 5  | 33,33  |
| 7     | 6 | 66,67  | 9     | 6  | 20,00  | 9    | 6  | 19,35  | 9     | 6  | 20,00  | 8     | 6  | 40,00  |
| 7     | 7 | 77,78  | 9     | 7  | 23,33  | 9    | 7  | 22,58  | 9     | 7  | 23,33  | 8     | 7  | 46,67  |
| 7     | 8 | 88,89  | 9     | 8  | 26,67  | 9    | 8  | 25,81  | 9     | 8  | 26,67  | 8     | 8  | 53,33  |
| 7     | 9 | 100,00 | 9     | 9  | 30,00  | 9    | 9  | 29,03  | 9     | 9  | 30,00  | 7     | 9  | 60,00  |
|       |   |        | 8     | 10 | 33,33  | 9    | 10 | 32,26  | 9     | 10 | 33,33  | 6     | 10 | 66,67  |
|       |   |        | 8     | 11 | 36,67  | 9    | 11 | 35,48  | 9     | 11 | 36,67  | 5     | 11 | 73,33  |
|       |   |        | 8     | 12 | 40,00  | 9    | 12 | 38,71  | 9     | 12 | 40,00  | 3     | 12 | 80,00  |
|       |   |        | 8     | 13 | 43,33  | 9    | 13 | 41,94  | 8     | 13 | 43,33  | 0     | 13 | 86,67  |
|       |   |        | 8     | 14 | 46,67  | 9    | 14 | 45,16  | 8     | 14 | 46,67  | 0     | 14 | 93,33  |
|       |   |        | 8     | 15 | 50,00  | 9    | 15 | 48,39  | 8     | 15 | 50,00  | 0     | 15 | 100,00 |
|       |   |        | 8     | 16 | 53,33  | 9    | 16 | 51,61  | 8     | 16 | 53,33  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 17 | 56,67  | 9    | 17 | 54,84  | 8     | 17 | 56,67  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 18 | 60,00  | 9    | 18 | 58,06  | 8     | 18 | 60,00  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 19 | 63,33  | 8    | 19 | 61,29  | 8     | 19 | 63,33  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 20 | 66,67  | 8    | 20 | 64,52  | 8     | 20 | 66,67  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 21 | 70,00  | 8    | 21 | 67,74  | 7     | 21 | 70,00  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 22 | 73,33  | 8    | 22 | 70,97  | 7     | 22 | 73,33  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 23 | 76,67  | 8    | 23 | 74,19  | 7     | 23 | 76,67  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 24 | 80,00  | 8    | 24 | 77,42  | 7     | 24 | 80,00  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 25 | 83,33  | 8    | 25 | 80,65  | 7     | 25 | 83,33  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 26 | 86,67  | 7    | 26 | 83,87  | 7     | 26 | 86,67  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 27 | 90,00  | 7    | 27 | 87,10  | 6     | 27 | 90,00  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 28 | 93,33  | 7    | 28 | 90,32  | 6     | 28 | 93,33  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 29 | 96,67  | 6    | 29 | 93,55  | 5     | 29 | 96,67  |       |    |        |
|       |   |        | 3     | 30 | 100,00 | 5    | 30 | 96,77  | 2     | 30 | 100,00 |       |    |        |
|       |   |        |       |    |        | 1    | 31 | 100,00 |       |    |        |       |    |        |

Anexo 2.7: tabla de frecuencia de horas en las cuales las temperaturas superaron el umbral para la afectación de la maduración y formación del fruto (26°C, Rodríguez, 2013). Para el tratamiento TCO2.

| Marzo | n | F(%)   | Abril | n  | F(%)   | Mayo | n  | F(%)   | Junio | n  | F(%)   | Julio | n  | F(%)   |
|-------|---|--------|-------|----|--------|------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|
| 15    | 1 | 11,11  | 21    | 1  | 3,33   | 16   | 1  | 3,23   | 17    | 1  | 3,33   | 16    | 1  | 6,67   |
| 14    | 2 | 22,22  | 16    | 2  | 6,67   | 16   | 2  | 6,45   | 15    | 2  | 6,67   | 16    | 2  | 13,33  |
| 13    | 3 | 33,33  | 16    | 3  | 10,00  | 16   | 3  | 9,68   | 15    | 3  | 10,00  | 15    | 3  | 20,00  |
| 13    | 4 | 44,44  | 16    | 4  | 13,33  | 16   | 4  | 12,90  | 15    | 4  | 13,33  | 15    | 4  | 26,67  |
| 13    | 5 | 55,56  | 16    | 5  | 16,67  | 15   | 5  | 16,13  | 15    | 5  | 16,67  | 15    | 5  | 33,33  |
| 13    | 6 | 66,67  | 15    | 6  | 20,00  | 15   | 6  | 19,35  | 14    | 6  | 20,00  | 14    | 6  | 40,00  |
| 13    | 7 | 77,78  | 15    | 7  | 23,33  | 15   | 7  | 22,58  | 14    | 7  | 23,33  | 14    | 7  | 46,67  |
| 12    | 8 | 88,89  | 15    | 8  | 26,67  | 15   | 8  | 25,81  | 14    | 8  | 26,67  | 14    | 8  | 53,33  |
| 11    | 9 | 100,00 | 15    | 9  | 30,00  | 15   | 9  | 29,03  | 14    | 9  | 30,00  | 13    | 9  | 60,00  |
|       |   |        | 15    | 10 | 33,33  | 15   | 10 | 32,26  | 14    | 10 | 33,33  | 13    | 10 | 66,67  |
|       |   |        | 15    | 11 | 36,67  | 15   | 11 | 35,48  | 14    | 11 | 36,67  | 13    | 11 | 73,33  |
|       |   |        | 15    | 12 | 40,00  | 15   | 12 | 38,71  | 13    | 12 | 40,00  | 12    | 12 | 80,00  |
|       |   |        | 15    | 13 | 43,33  | 15   | 13 | 41,94  | 13    | 13 | 43,33  | 11    | 13 | 86,67  |
|       |   |        | 14    | 14 | 46,67  | 14   | 14 | 45,16  | 13    | 14 | 46,67  | 11    | 14 | 93,33  |
|       |   |        | 14    | 15 | 50,00  | 14   | 15 | 48,39  | 13    | 15 | 50,00  | 11    | 15 | 100,00 |
|       |   |        | 14    | 16 | 53,33  | 14   | 16 | 51,61  | 13    | 16 | 53,33  |       |    |        |
|       |   |        | 14    | 17 | 56,67  | 14   | 17 | 54,84  | 13    | 17 | 56,67  |       |    |        |
|       |   |        | 14    | 18 | 60,00  | 14   | 18 | 58,06  | 12    | 18 | 60,00  |       |    |        |
|       |   |        | 13    | 19 | 63,33  | 14   | 19 | 61,29  | 12    | 19 | 63,33  |       |    |        |
|       |   |        | 13    | 20 | 66,67  | 14   | 20 | 64,52  | 12    | 20 | 66,67  |       |    |        |
|       |   |        | 13    | 21 | 70,00  | 13   | 21 | 67,74  | 12    | 21 | 70,00  |       |    |        |
|       |   |        | 13    | 22 | 73,33  | 13   | 22 | 70,97  | 12    | 22 | 73,33  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 23 | 76,67  | 13   | 23 | 74,19  | 12    | 23 | 76,67  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 24 | 80,00  | 13   | 24 | 77,42  | 12    | 24 | 80,00  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 25 | 83,33  | 13   | 25 | 80,65  | 11    | 25 | 83,33  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 26 | 86,67  | 12   | 26 | 83,87  | 11    | 26 | 86,67  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 27 | 90,00  | 12   | 27 | 87,10  | 11    | 27 | 90,00  |       |    |        |
|       |   |        | 12    | 28 | 93,33  | 12   | 28 | 90,32  | 10    | 28 | 93,33  |       |    |        |
|       |   |        | 11    | 29 | 96,67  | 10   | 29 | 93,55  | 10    | 29 | 96,67  |       |    |        |
|       |   |        | 9     | 30 | 100,00 | 10   | 30 | 96,77  | 8     | 30 | 100,00 |       |    |        |
|       |   |        |       |    |        | 9    | 31 | 100,00 |       |    |        |       |    |        |

Anexo 2.8: tabla de frecuencia de horas en las cuales las temperaturas superaron el umbral para la afectación de la fotosíntesis en tomate (30°C, Rodríguez, 2013). Para el tratamiento TCO2.

| Marzo | n | F(%)   | Abril | n  | F(%)   | Mayo | n  | F(%)   | Junio | n  | F(%)   | Julio | n  | F(%)   |
|-------|---|--------|-------|----|--------|------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|
| 9     | 1 | 11,11  | 11    | 1  | 3,33   | 11   | 1  | 3,23   | 10    | 1  | 3,33   | 9     | 1  | 6,67   |
| 8     | 2 | 22,22  | 11    | 2  | 6,67   | 11   | 2  | 6,45   | 10    | 2  | 6,67   | 9     | 2  | 13,33  |
| 8     | 3 | 33,33  | 11    | 3  | 10,00  | 11   | 3  | 9,68   | 10    | 3  | 10,00  | 9     | 3  | 20,00  |
| 8     | 4 | 44,44  | 11    | 4  | 13,33  | 11   | 4  | 12,90  | 10    | 4  | 13,33  | 9     | 4  | 26,67  |
| 8     | 5 | 55,56  | 10    | 5  | 16,67  | 10   | 5  | 16,13  | 10    | 5  | 16,67  | 9     | 5  | 33,33  |
| 8     | 6 | 66,67  | 10    | 6  | 20,00  | 10   | 6  | 19,35  | 10    | 6  | 20,00  | 9     | 6  | 40,00  |
| 8     | 7 | 77,78  | 10    | 7  | 23,33  | 10   | 7  | 22,58  | 10    | 7  | 23,33  | 9     | 7  | 46,67  |
| 8     | 8 | 88,89  | 10    | 8  | 26,67  | 10   | 8  | 25,81  | 9     | 8  | 26,67  | 8     | 8  | 53,33  |
| 7     | 9 | 100,00 | 10    | 9  | 30,00  | 10   | 9  | 29,03  | 9     | 9  | 30,00  | 8     | 9  | 60,00  |
|       |   |        | 9     | 10 | 33,33  | 10   | 10 | 32,26  | 9     | 10 | 33,33  | 8     | 10 | 66,67  |
|       |   |        | 9     | 11 | 36,67  | 10   | 11 | 35,48  | 9     | 11 | 36,67  | 8     | 11 | 73,33  |
|       |   |        | 9     | 12 | 40,00  | 10   | 12 | 38,71  | 9     | 12 | 40,00  | 6     | 12 | 80,00  |
|       |   |        | 9     | 13 | 43,33  | 9    | 13 | 41,94  | 9     | 13 | 43,33  | 6     | 13 | 86,67  |
|       |   |        | 9     | 14 | 46,67  | 9    | 14 | 45,16  | 9     | 14 | 46,67  | 0     | 14 | 93,33  |
|       |   |        | 9     | 15 | 50,00  | 9    | 15 | 48,39  | 9     | 15 | 50,00  | 0     | 15 | 100,00 |
|       |   |        | 9     | 16 | 53,33  | 9    | 16 | 51,61  | 9     | 16 | 53,33  |       |    |        |
|       |   |        | 9     | 17 | 56,67  | 9    | 17 | 54,84  | 8     | 17 | 56,67  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 18 | 60,00  | 9    | 18 | 58,06  | 8     | 18 | 60,00  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 19 | 63,33  | 9    | 19 | 61,29  | 8     | 19 | 63,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 20 | 66,67  | 9    | 20 | 64,52  | 8     | 20 | 66,67  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 21 | 70,00  | 9    | 21 | 67,74  | 8     | 21 | 70,00  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 22 | 73,33  | 9    | 22 | 70,97  | 8     | 22 | 73,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 23 | 76,67  | 9    | 23 | 74,19  | 8     | 23 | 76,67  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 24 | 80,00  | 9    | 24 | 77,42  | 8     | 24 | 80,00  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 25 | 83,33  | 8    | 25 | 80,65  | 8     | 25 | 83,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 26 | 86,67  | 8    | 26 | 83,87  | 7     | 26 | 86,67  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 27 | 90,00  | 8    | 27 | 87,10  | 7     | 27 | 90,00  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 28 | 93,33  | 8    | 28 | 90,32  | 7     | 28 | 93,33  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 29 | 96,67  | 7    | 29 | 93,55  | 7     | 29 | 96,67  |       |    |        |
|       |   |        | 5     | 30 | 100,00 | 7    | 30 | 96,77  | 6     | 30 | 100,00 |       |    |        |
|       |   |        |       |    |        | 2    | 31 | 100,00 |       |    |        |       |    |        |

Anexo 2.9: tabla de frecuencia de horas en las cuales las temperaturas superaron el umbral para la afectación producir abortos por heterostilia (32°C, Hidalgo y Gonzáles, 2005). Para el tratamiento TCO2.

| Marzo | n | F(%)   | Abril | n  | F(%)   | Mayo | n  | F(%)   | Junio | n  | F(%)   | Julio | n  | F(%)   |
|-------|---|--------|-------|----|--------|------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|
| 8     | 1 | 11,11  | 9     | 1  | 3,33   | 9    | 1  | 3,23   | 9     | 1  | 3,33   | 8     | 1  | 6,67   |
| 7     | 2 | 22,22  | 9     | 2  | 6,67   | 9    | 2  | 6,45   | 8     | 2  | 6,67   | 8     | 2  | 13,33  |
| 7     | 3 | 33,33  | 9     | 3  | 10,00  | 9    | 3  | 9,68   | 8     | 3  | 10,00  | 8     | 3  | 20,00  |
| 7     | 4 | 44,44  | 9     | 4  | 13,33  | 9    | 4  | 12,90  | 8     | 4  | 13,33  | 8     | 4  | 26,67  |
| 7     | 5 | 55,56  | 9     | 5  | 16,67  | 9    | 5  | 16,13  | 8     | 5  | 16,67  | 8     | 5  | 33,33  |
| 7     | 6 | 66,67  | 9     | 6  | 20,00  | 9    | 6  | 19,35  | 8     | 6  | 20,00  | 8     | 6  | 40,00  |
| 7     | 7 | 77,78  | 8     | 7  | 23,33  | 9    | 7  | 22,58  | 8     | 7  | 23,33  | 7     | 7  | 46,67  |
| 6     | 8 | 88,89  | 8     | 8  | 26,67  | 9    | 8  | 25,81  | 8     | 8  | 26,67  | 7     | 8  | 53,33  |
| 6     | 9 | 100,00 | 8     | 9  | 30,00  | 8    | 9  | 29,03  | 8     | 9  | 30,00  | 7     | 9  | 60,00  |
|       |   |        | 8     | 10 | 33,33  | 8    | 10 | 32,26  | 8     | 10 | 33,33  | 7     | 10 | 66,67  |
|       |   |        | 8     | 11 | 36,67  | 8    | 11 | 35,48  | 8     | 11 | 36,67  | 6     | 11 | 73,33  |
|       |   |        | 8     | 12 | 40,00  | 8    | 12 | 38,71  | 8     | 12 | 40,00  | 5     | 12 | 80,00  |
|       |   |        | 8     | 13 | 43,33  | 8    | 13 | 41,94  | 8     | 13 | 43,33  | 2     | 13 | 86,67  |
|       |   |        | 8     | 14 | 46,67  | 8    | 14 | 45,16  | 8     | 14 | 46,67  | 0     | 14 | 93,33  |
|       |   |        | 8     | 15 | 50,00  | 8    | 15 | 48,39  | 8     | 15 | 50,00  | 0     | 15 | 100,00 |
|       |   |        | 8     | 16 | 53,33  | 8    | 16 | 51,61  | 8     | 16 | 53,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 17 | 56,67  | 8    | 17 | 54,84  | 8     | 17 | 56,67  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 18 | 60,00  | 8    | 18 | 58,06  | 8     | 18 | 60,00  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 19 | 63,33  | 8    | 19 | 61,29  | 7     | 19 | 63,33  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 20 | 66,67  | 8    | 20 | 64,52  | 7     | 20 | 66,67  |       |    |        |
|       |   |        | 8     | 21 | 70,00  | 8    | 21 | 67,74  | 7     | 21 | 70,00  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 22 | 73,33  | 8    | 22 | 70,97  | 7     | 22 | 73,33  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 23 | 76,67  | 8    | 23 | 74,19  | 6     | 23 | 76,67  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 24 | 80,00  | 8    | 24 | 77,42  | 6     | 24 | 80,00  |       |    |        |
|       |   |        | 7     | 25 | 83,33  | 7    | 25 | 80,65  | 6     | 25 | 83,33  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 26 | 86,67  | 7    | 26 | 83,87  | 6     | 26 | 86,67  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 27 | 90,00  | 7    | 27 | 87,10  | 6     | 27 | 90,00  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 28 | 93,33  | 6    | 28 | 90,32  | 5     | 28 | 93,33  |       |    |        |
|       |   |        | 6     | 29 | 96,67  | 6    | 29 | 93,55  | 5     | 29 | 96,67  |       |    |        |
|       |   |        | 5     | 30 | 100,00 | 6    | 30 | 96,77  | 4     | 30 | 100,00 |       |    |        |
|       |   |        |       |    |        | 1    | 31 | 100,00 |       |    |        |       |    |        |

Anexo 3: promedios por tratamientos para las variables peso fresco de la raíz, longitud de la raíz, volumen de la raíz y peso seco de la raíz. Comparación para los 60 ddt. Letras distintas indica diferencia entre tratamientos ( $\alpha=0,05$ ).

| Tratamiento | Long. Raíz (cm)    | Vol. Raíz (ml) | Peso Fresco (g)    | Peso Seco (g) |
|-------------|--------------------|----------------|--------------------|---------------|
| TEXT        | 20,63 <sup>a</sup> | 7,88 a         | 7,75 <sup>a</sup>  | 1,19 a        |
| TINT        | 25,63ab            | 10,75 a        | 9,8ab              | 1,34 a        |
| TCO2        | 28,38b             | 15,25 b        | 12,74 <sup>a</sup> | 1,96 b        |

letras distintas indican diferencias significativas con  $\alpha=0,05$

Anexo 4: Cuadro resumen de diferencias (en %) de las variables evaluadas con respecto a TCO2 a los 60 ddt.

| Diferencias | Altura | # de hojas | área foliar | Long. Raíz | Peso Fresco de la raíz | Peso fresco aérea Vegetativa | Volumen de raíz | Peso Fresco Flores | Peso Fresco Fruto | Peso Seco Raíz | Peso Seco aérea vegetativa | Peso seco Flores | Peso Seco Frutos  |
|-------------|--------|------------|-------------|------------|------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|----------------|----------------------------|------------------|-------------------|
| TCO2-TEXT   | + 17%  | =          | - 150%      | +37%       | +30%                   | -106 %                       | + 41%           | +81%               | Sin Frutos(TCO2)  | +46%           | =                          | +61 %            | Sin Frutos(TCO2)  |
| TCO2-TINT   | + 22%  | =          | =           | +10%       | +64%                   | =                            | +93%            | +89%               | Sin Frutos (TCO2) | +64%           | =                          | +56 %            | Sin Frutos (TCO2) |

Anexo 5: Cuadro resumen de diferencias (en %) de las variables evaluadas con respecto a TCO2 a los 90 ddt.

| Diferencias | Altura | # de hojas | área foliar | Long. Raíz | Peso Fresco de la raíz | Peso fresco aérea Vegetativa | Volumen de raíz | Peso Fresco Flores | Peso Fresco Fruto | Peso Seco Raíz | Peso Seco aérea vegetativa | Peso seco Flores | Peso Seco Frutos |
|-------------|--------|------------|-------------|------------|------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|----------------|----------------------------|------------------|------------------|
| TCO2-TEXT   | +29%   | =          | +49%        | =          | +31%                   | +30%                         | +36%            | +92%               | -1061             | +39%           | 23%                        | 65%              | - 1055%          |
| TCO2-TINT   | +32%   | =          | +193%       | =          | +307%                  | +70%                         | +199%           | +100%              | =                 | +113%          | 61%                        | 32%              | =                |

## Anexo 6: Coeficientes de correlación entre las variables.

### Anexo 6.1: matriz de coeficientes de correlación para TEXT.

|                | [CO2] (ppm) | TEMP. MED (°C) | TEMP.MAX (°C) | Temp. Min (°C) | HR med (%) | Altura (cm) | # hojas | # Flores | #frutos | Fotosíntesis | EUA  |
|----------------|-------------|----------------|---------------|----------------|------------|-------------|---------|----------|---------|--------------|------|
| [CO2] (ppm)    | 1,00        |                |               |                |            |             |         |          |         |              |      |
| TEMP. MED (°C) | 0,28        | 1,00           |               |                |            |             |         |          |         |              |      |
| TEMP.MAX (°C)  | 0,23        | 0,87           | 1,00          |                |            |             |         |          |         |              |      |
| Temp. Min (°C) | 0,07        | 0,79           | 0,49          | 1,00           |            |             |         |          |         |              |      |
| HR med (%)     | -0,19       | -0,93          | -0,71         | -0,75          | 1,00       |             |         |          |         |              |      |
| Altura (cm)    | 0,89        | 0,21           | 0,28          | -0,04          | -0,01      | 1,00        |         |          |         |              |      |
| # hojas        | 0,67        | -0,04          | 0,06          | -0,29          | 0,12       | 0,72        | 1,00    |          |         |              |      |
| # Flores       | 0,16        | 0,24           | 0,57          | 0,06           | -0,01      | 0,36        | 0,29    | 1,00     |         |              |      |
| #frutos        | 0,80        | -0,01          | -0,03         | -0,24          | 0,07       | 0,84        | 0,66    | -0,10    | 1,00    |              |      |
| Fotosíntesis   | -0,34       | -0,13          | -0,30         | 0,05           | 0,13       | -0,40       | -0,07   | -0,46    | -0,29   | 1,00         |      |
| EUA            | -0,55       | -0,29          | -0,41         | -0,03          | 0,27       | -0,61       | -0,28   | -0,33    | -0,59   | 0,89         | 1,00 |

### Anexo 6.2: matriz de coeficientes de correlación para TINT.

|                | [CO2] (ppm) | TEMP. MED (°C) | TEMP.MAX (°C) | Temp. Min (°C) | HR med (%) | Altura (cm) | # hojas | # Flores | #frutos | Fotosíntesis | EUA  |
|----------------|-------------|----------------|---------------|----------------|------------|-------------|---------|----------|---------|--------------|------|
| [CO2] (ppm)    | 1,00        |                |               |                |            |             |         |          |         |              |      |
| TEMP. MED (°C) | -0,02       | 1,00           |               |                |            |             |         |          |         |              |      |
| TEMP.MAX (°C)  | 0,13        | 0,86           | 1,00          |                |            |             |         |          |         |              |      |
| Temp. Min (°C) | -0,32       | 0,78           | 0,46          | 1,00           |            |             |         |          |         |              |      |
| HR med (%)     | 0,27        | -0,93          | -0,74         | -0,88          | 1,00       |             |         |          |         |              |      |
| Altura (cm)    | 0,72        | 0,16           | 0,30          | -0,18          | 0,07       | 1,00        |         |          |         |              |      |
| # hojas        | 0,55        | -0,19          | 0,06          | -0,42          | 0,33       | 0,83        | 1,00    |          |         |              |      |
| # Flores       | 0,57        | -0,10          | 0,05          | -0,39          | 0,23       | 0,87        | 0,93    | 1,00     |         |              |      |
| #frutos        | 0,68        | 0,06           | 0,07          | -0,24          | 0,11       | 0,90        | 0,77    | 0,92     | 1,00    |              |      |
| Fotosíntesis   | -0,54       | 0,15           | -0,14         | 0,38           | -0,21      | -0,51       | -0,58   | -0,59    | -0,53   | 1,00         |      |
| EUA            | -0,35       | -0,24          | -0,50         | 0,05           | 0,21       | -0,39       | -0,24   | -0,31    | -0,33   | 0,81         | 1,00 |

### Anexo 6.3: matriz de coeficientes de correlación para TCO2.

|                | [CO2] (ppm) | TEMP. MED (°C) | TEMP.MAX (°C) | Temp. Min (°C) | HR med (%) | Altura (cm) | # hojas | # Flores | #frutos | Fotosíntesis | EUA  |
|----------------|-------------|----------------|---------------|----------------|------------|-------------|---------|----------|---------|--------------|------|
| [CO2] (ppm)    | 1,00        |                |               |                |            |             |         |          |         |              |      |
| TEMP. MED (°C) | -0,18       | 1,00           |               |                |            |             |         |          |         |              |      |
| TEMP.MAX (°C)  | -0,13       | 0,80           | 1,00          |                |            |             |         |          |         |              |      |
| Temp. Min (°C) | -0,25       | 0,83           | 0,58          | 1,00           |            |             |         |          |         |              |      |
| HR med (%)     | 0,05        | -0,91          | -0,62         | -0,91          | 1,00       |             |         |          |         |              |      |
| Altura (cm)    | 0,75        | -0,16          | -0,09         | -0,29          | 0,09       | 1,00        |         |          |         |              |      |
| # hojas        | 0,68        | -0,37          | -0,16         | -0,48          | 0,29       | 0,88        | 1,00    |          |         |              |      |
| # Flores       | 0,73        | -0,37          | -0,27         | -0,45          | 0,24       | 0,92        | 0,97    | 1,00     |         |              |      |
| #frutos        | 0,77        | -0,22          | -0,21         | -0,32          | 0,03       | 0,86        | 0,89    | 0,91     | 1,00    |              |      |
| Fotosíntesis   | -0,51       | 0,20           | -0,04         | 0,32           | -0,23      | -0,83       | -0,68   | -0,65    | -0,59   | 1,00         |      |
| EUA            | -0,48       | -0,06          | -0,32         | 0,14           | -0,09      | -0,73       | -0,60   | -0,52    | -0,45   | 0,87         | 1,00 |

## Anexo 7: Variabilidad Explicada por cada componente principal.

Anexo 7.1: Variabilidad acumulada para TEXT.

| Lambda | Valor   | Proporción | Prop Acum |
|--------|---------|------------|-----------|
| 1      | 4,41    | 0,40       | 0,40      |
| 2      | 3,25    | 0,30       | 0,70      |
| 3      | 1,46    | 0,13       | 0,83      |
| 4      | 1,05    | 0,10       | 0,92      |
| 5      | 0,40    | 0,04       | 0,96      |
| 6      | 0,24    | 0,02       | 0,98      |
| 7      | 0,14    | 0,01       | 1,00      |
| 8      | 0,03    | 2,8E-03    | 1,00      |
| 9      | 0,02    | 1,6E-03    | 1,00      |
| 10     | 9,3E-04 | 8,5E-05    | 1,00      |
| 11     | 0,00    | 0,00       | 1,00      |

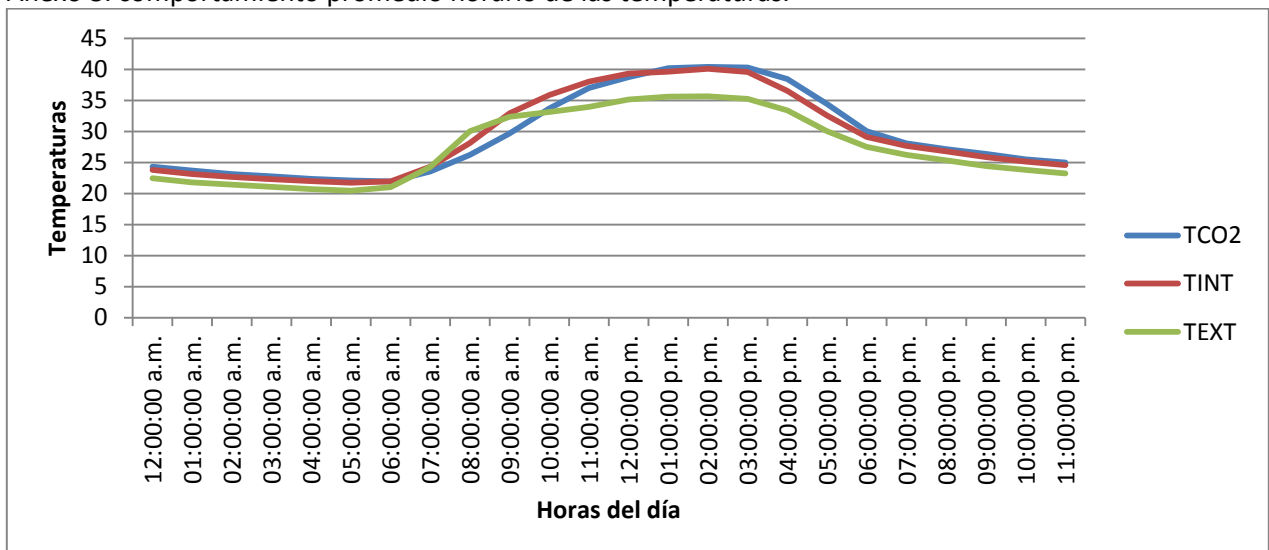
Anexo 7.2: Variabilidad acumulada para TINT.

| Lambda | Valor   | Proporción | Prop Acum |
|--------|---------|------------|-----------|
| 1      | 5,06    | 0,46       | 0,46      |
| 2      | 3,43    | 0,31       | 0,77      |
| 3      | 1,22    | 0,11       | 0,88      |
| 4      | 0,55    | 0,05       | 0,93      |
| 5      | 0,40    | 0,04       | 0,97      |
| 6      | 0,19    | 0,02       | 0,99      |
| 7      | 0,11    | 0,01       | 1,00      |
| 8      | 0,04    | 3,4E-03    | 1,00      |
| 9      | 0,01    | 7,6E-04    | 1,00      |
| 10     | 2,1E-04 | 1,9E-05    | 1,00      |
| 11     | 0,00    | 0,00       | 1,00      |

Anexo 7.3: Variabilidad acumulada para TCO2.

| Lambda | Valor   | Proporción | Prop Acum |
|--------|---------|------------|-----------|
| 1      | 5,87    | 0,53       | 0,53      |
| 2      | 3,02    | 0,27       | 0,81      |
| 3      | 1,08    | 0,10       | 0,91      |
| 4      | 0,36    | 0,03       | 0,94      |
| 5      | 0,36    | 0,03       | 0,97      |
| 6      | 0,13    | 0,01       | 0,98      |
| 7      | 0,10    | 0,01       | 0,99      |
| 8      | 0,07    | 0,01       | 1,00      |
| 9      | 0,01    | 9,1E-04    | 1,00      |
| 10     | 3,5E-05 | 3,2E-06    | 1,00      |
| 11     | 0,00    | 0,00       | 1,00      |

Anexo 8: comportamiento promedio horario de las temperaturas.



**Anexo 9: inicio y finalización de semanas en los cuales se realizó el ensayo:**

| Semana | Inicio | Fin    |
|--------|--------|--------|
| 1      | 23-mar | 29-mar |
| 2      | 30-mar | 05-abr |
| 3      | 06-abr | 12-abr |
| 4      | 13-abr | 19-abr |
| 5      | 20-abr | 26-abr |
| 6      | 27-abr | 03-may |
| 7      | 04-may | 10-may |
| 8      | 11-may | 17-may |
| 9      | 18-may | 24-may |
| 10     | 25-may | 31-may |
| 11     | 01-jun | 07-jun |
| 12     | 08-jun | 14-jun |
| 13     | 15-jun | 21-jun |
| 14     | 22-jun | 28-jun |
| 15     | 29-jun | 05-jul |
| 16     | 06-jul | 12-jul |