

## Estrategias fisiológicas de cultivares de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo agricultura protegida\*

### Physiological strategies basil cultivars (*Ocimum basilicum* L.) under protected agriculture

Alejandra Nieto-Garibay<sup>1</sup>, Bernardo Murillo-Amador<sup>1§</sup>, Enrique Troyo-Diéquez<sup>1</sup>, Juan José Reyes-Pérez<sup>2,3</sup>, Luis Guillermo Hernández-Montiel<sup>1</sup> y Pablo Yescas Coronado<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. La Paz, Baja California Sur, México. C. P. 23096. Tel. +52 612 123 84 40. <sup>2</sup>Universidad Técnica de Cotopáxi. Av. Simón Rodríguez s/n, Barrio El Ejido Sector San Felipe, La Maná, Ecuador. <sup>3</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Campus Ingeniero Manuel Agustín Haz Álvarez, Av. Quito km. 1 1/2 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, Ecuador. <sup>4</sup>Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coahuila, México. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: bmurillo04@cibnor.mx.

#### Resumen

En los últimos años la producción agrícola bajo sistemas protegidos ha ido en aumento debido a los buenos resultados en el incremento de las cosechas, sin embargo, son escasos los estudios acerca de las estrategias fisiológicas que las plantas ajustan para adaptarse al microclima formado en estos sistemas. El propósito del presente trabajo fue dilucidar las estrategias fisiológicas que utilizan 20 cultivares de albahaca para su cultivo bajo agricultura protegida, comparándola con una parcela a cielo abierto contigua ambas en una zona árida de Baja California Sur en el año de 2010. Se evaluaron variables fisiológicas como tasa fotosintética, conductancia estomática y temperatura de la hoja, variables microclimáticas en cada uno de los sistemas productivos (protegido y a cielo abierto), así como la producción de biomasa fresca por planta. Los resultados mostraron que nueve de los cultivares mostraron una mayor producción de biomasa fresca por planta bajo agricultura protegida, tres mejoraron en la parcela a cielo abierto y ocho no tuvieron cambios significativos en su biomasa fresca en los sistemas de producción. Los resultados de las variables fisiológicas no mostraron diferencias significativas entre el efecto del sistema de producción y los cultivares, excepto para la tasa fotosintética, pero sí entre cultivares. Los mejores cultivares

#### Abstract

In recent years agricultural production under protected systems has been increasing due to good results in increased yields, however, there are few studies on the physiological strategies that plants adapt to suit the microclimate formed in these systems. The purpose of this study was to elucidate the physiological strategies used 20 cultivars of basil for cultivation under protected agriculture, compared with a parcel opencast adjacent both in an arid area of Baja California Sur in the year 2010. The physiological variables were evaluated as photosynthetic rate, stomatal conductance and leaf temperature, microclimate variables in each of the production systems (protected and open pit), and the production of fresh biomass per plant. The results showed that nine of the cultivars showed increased production of fresh biomass per plant under protected agriculture, three progressed in the plot opencast and one had no significant changes in fresh biomass production systems. The results of physiological variables showed no significant difference between the effect of the production system and cultivars, except for the photosynthetic rate, but among cultivars. The best cultivars for production under protected agriculture were Mrs. Burns. Nufar and Lettuce leaf, with increased production of fresh biomass per plant.

\* Recibido: marzo de 2016  
Aceptado: junio de 2016

para su producción bajo agricultura protegida fueron Mrs. Burns, Nufar y Lettuce leaf, con la mayor producción de biomasa fresca por planta.

**Palabras clave:** *Ocimum basilicum*, conductancia estomática, biomasa fresca, temperatura de la hoja, fotosíntesis.

## Introducción

La albahaca es un cultivo importante cultural y económicamente hablando, su uso va desde la industria medicinal a la culinaria, así como repelente de insectos y elaboración de cosméticos. Lo anterior se debe a los aceites esenciales y componentes químicos que son la materia prima para su uso en la industria (Omidbaigi *et al.*, 2010; Mousavi *et al.*, 2011; Ekren *et al.*, 2012). En consecuencia de albahaca es cultivada en gran parte del mundo, aunque su origen esté en las regiones tropicales y subtropicales de Asia, África y Sudamérica (Ono *et al.*, 2011). Baja California Sur (B.C.S.) es el principal productor de albahaca orgánica en México, la mayor parte se cultiva en parcelas a cielo abierto con una menor parte en agricultura protegida con mallas sombras (SIAP, 2014). El uso de malla sombras ha ido en aumento en B. C. S., con el fin de incrementar la producción evitando el ataque de plagas y enfermedades. Adicionalmente el uso de la malla sombra permite al productor crear un microclima con un cierto nivel de control en beneficio del desarrollo de la planta (Osborne *et al.*, 2010; Qian *et al.*, 2012; Khoshnevisa *et al.*, 2013).

Existe varios estudios acerca del uso de la albahaca, la producción de sus aceites esenciales y su calidad bajo diferentes condiciones de fertilización, uso de hormonas, estrés hídrico y salino, algunos estudios tanto a cielo abierto como en agricultura protegida (Ono *et al.*, 2011; Barbieri *et al.*, 2012; Khalid, 2006; Pahlavan *et al.*, 2012; Fabrizio, 2012; Khoshnevisan, 2013). Sin embargo, pocos estudios se han realizado para conocer la respuesta de la capacidad adaptativa a través de estrategias fisiológicas en diferentes ambientes y condiciones de agricultura protegida, a través del uso de mallas sombras. Aunque la respuesta de las plantas a una determinada condición ambiental puede desarrollar mecanismos diferentes aun perteneciendo al mismo género y especie (Challinor *et al.*, 2007; Barbieri *et al.*, 2012). Ojeda-Silvera *et al.* (2013) estudiaron la respuesta de 20 cultivares de albahaca bajo estrés hídrico durante la germinación y en plántula, encontrando una respuesta diferencial entre ellas.

**Keywords:** *Ocimum basilicum*, fresh biomass, leaf temperature, photosynthesis, stomatal conductance.

## Introduction

The basil is an important cultural cultivation and economically speaking, its use is from the medicinal to the food industry, as well as insect repellent and development of cosmetics. This is due to essential oils and chemical components that are the raw material for use in industry (Omidbaigi *et al.*, 2010; Mousavi *et al.*, 2011; Ekren *et al.*, 2012). Consequently basil is grown in much of the world, although its origin is in tropical and subtropical regions of Asia, Africa and South America (Ono *et al.*, 2011). Baja California Sur (BCS) is the leading producer of organic basil in Mexico, most plots cultivated in open pit with a minor part in protected agriculture with shadows mesh (SIAP, 2014). The use of mesh shadows has been increasing in B. C. S., in order to increase production while avoiding the attack of pests and diseases. Additionally, the use shade cloth allows the producer to create a microclimate with a certain level of control for the benefit of plant development (Osborne *et al.*, 2010; Qian *et al.*, 2012; Khoshnevisa *et al.*, 2013).

There is a lot of studies about using basil, production of essential oils and quality under different conditions of fertilization, use of hormones, water and salt stress, in some including studies both open sky and agriculture protected (Khalid, 2006; Ono *et al.*, 2011; Barbieri *et al.*, 2012; Pahlavan *et al.*, 2012; Fabrizio, 2012; Khoshnevisan, 2013). However, few studies have been conducted to determine the response of adaptive capacity through physiological strategies in different environments and conditions protected agriculture through the use of mesh shadows. It is known that the response of plants to a particular environmental condition can develop different mechanisms even belong to the same genus and species (Challinor *et al.*, 2007; Barbieri *et al.*, 2012). Ojeda-Silvera *et al.* (2013) studied the response of 20 cultivars of basil under water stress during germination and seedling, finding a differential response between them.

A similar response was reported by Reyes-Pérez *et al.* (2013a y 2013b) in the same cultivars of basil when studied under salt stress. The basil cultivars appear to respond differently to form stress environments, and the results indicate the potential of these responses for the selection of cultivars tolerant and sensitive to different

Una respuesta similar fue reportada por Reyes-Pérez *et al.* (2013a y 2013b) en los mismos cultivares de albahaca cuando se estudiaron bajo estrés salino. Los cultivares de albahaca parecen responder de forma distinta a los ambientes con estrés, y los resultados indican el potencial de estas respuestas para la selección de cultivares tolerantes y sensibles a diferentes tipos de estrés. Barbieri *et al.* (2012) en variedades de albahaca Napoletano y Genovese bajo tratamientos de estrés por salinidad encontró que Napoletano mostró una mayor tolerancia. Las diferentes respuestas de los cultivares de albahaca reflejan la posibilidad de su desarrollo bajo diferentes ambientes. Por lo que se esperaría que cultivares de albahaca que se desarrollan bajo condiciones de un sistema de cultivo protegido con mallas sombras y uno a cielo abierto presenten diferentes estrategias fisiológicas de adaptación a las condiciones ambientales en las que se desarrollan. Existen pocos estudios acerca del efecto de las condiciones ambientales que se dan bajo agricultura protegida sobre la fisiología de la planta.

La transpiración y uso eficiente del agua en el cultivo de rosas (Stanghellini *et al.*, 2011), evapotranspiración y coeficientes del cultivo en maíz (Yasutake *et al.*, 2011), producción en el cultivo de tomate (Vanthoor *et al.*, 2011) y albahaca (Pahalavan *et al.*, 2012), toman en cuenta variables fisiológicas y de producción en términos de análisis de intercambio de energía para crear modelos matemáticos con el fin de predecir la cosecha y mejorar las condiciones de invernaderos, pero no la respuesta fisiológica de cada cultivar como respuesta para entender las estrategias de la capacidad adaptativa de la planta a su ambiente.

En el presente estudio parte del supuesto de que los diferentes cultivares de albahaca sometidos a condiciones de malla sombra en una zona semi-árida, tales como altas temperaturas del aire, presión de vapor y reducción de la radiación fotosintéticamente activa (Improna *et al.*, 2008; Stanghellini *et al.*, 2011), mostrarán diferentes estrategias fisiológicas a diferencia de su cultivo a cielo abierto. Tales estrategias reflejarán una mejor capacidad de adaptación incrementando su producción. El objetivo de este trabajo es identificar los cultivares con una mejor respuesta en producción de biomasa fresca dentro de un sistema de producción protegida comparado con uno a cielo abierto. Este estudio pretende contribuir a la selección de cultivares mejor adaptados a las condiciones semi-áridas de la región con el fin de diversificar el cultivo de los productores de la misma ya que a la fecha sólo se cultiva una variedad.

types of stress. Barbieri *et al.* (2012) in varieties of basil Napoletano and Genovese low salinity stress treatments found that Napoletano showed greater tolerance. The different responses of basil cultivars reflect the possibility of development under different environments. As it expects basil cultivars that develop under conditions of protected cultivation system meshes with shadows and one open pit have different physiological adaptation strategies to environmental conditions in which they develop. There are few studies on the effect of environmental conditions given under protected agriculture on plant physiology.

The transpiration and water use efficiency in growing roses (Stanghellini *et al.*, 2011), evapotranspiration and crop coefficients for corn (Yasutake *et al.*, 2011), production in the cultivation of tomato (Vanthoor *et al.*, 2011) and basil (Pahalavan *et al.*, 2012), taking into account physiological variables and production in terms of analysis of energy exchange to create mathematical models to predict the harvest and improve the conditions of greenhouses, but not the answer physiological response of each cultivar to understand the strategies of the adaptive capacity of the plant to its environment.

In the present study assumes that different cultivars of basil under conditions of shade cloth in a semi-arid area, such as high air temperatures, vapor pressure and reduction of photosynthetically active radiation (Improna *et al.*, 2008; Stanghellini *et al.*, 2011), show different physiological strategies unlike culture opencast. Such strategies will reflect a better adaptability increasing production. The aim of this work is to identify cultivars with a better response in fresh biomass production within a production system protected compared with one open pit. This study aims to contribute to the selection of cultivars better adapted to the semi-arid conditions of the region in order to diversify crop producers the same as that to date only one variety is grown.

## Materials and methods

The study was conducted in a plot with a mesh structure anti-aphids (PMS) and a plot adjacent open pit (PCA). The soils are characterized by good ventilation and permeability for roots and low moisture retention, high percentage of sand, a neutral pH on its surface and slightly alkaline to a depth of 20 to 60 cm, with very low percentage of matter organic (< 1%).

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en una parcela con una estructura malla antiáfidos (PMS) y una parcela anexa a cielo abierto (PCA). Los suelos se caracterizan por tener una buena aireación y permeabilidad para las raíces y baja retención de humedad, con alto porcentaje de arena, un pH neutro en su superficie y ligeramente alcalino a una profundidad de 20 a 60 cm, con muy bajo porcentaje de materia orgánica (< 1%). Las temperaturas media, máxima y mínima media durante el tiempo del experimento fueron de 19, 20 y 18 °C respectivamente con 60% de humedad relativa (noviembre 2010 a abril 2011). La estructura de malla antiáfidos se construyó con tubos de acero galvanizado, utilizando una malla de 1610 PME CR, lo que significa que constaba de hilos de 16\*10 cm<sup>2</sup> con orificios de 0.4\*0.8 mm, color cristal 40% de sombra. La dimensión de la malla fue de 20 m de largo por 30 m de ancho.

La condición de luz dentro de la malla sombra fue natural. Los cultivares comerciales de albahaca que se utilizaron para el experimento Edwina, Emily, Eonwy, Dark opal, Genovese, Italian large leaf, Licorice, Lettuce leaf, Marian, Martina, Mammont sweet, Mrs. Burns, Nufar, Rubin roz, Red rubin, Siam queen ass, Sweet dani (Lemon basil), Sweet genovese, Purple ruffles y Thai. Las semillas se obtuvieron de la compañía Vis Seed Company Inc. (Arcadia, CA, USA). Todos los cultivares se germinaron en semilleros de plástico de 200 cavidades mismos que se llenaron con sustrato comercial Sunshine Mix # 3 Soil (Sun Gro Horticulture Products, Canada Ltd). Los semilleros se regaron cada dos días y se fertilizaron tres veces con un producto orgánico a base de algas (40% de nitrógeno) en dosis de 3.5 mL L<sup>-1</sup> de agua y lixiviado de lombricomposta en dosis de 0.5 L en 100 L de agua. Las plantas se trasplantaron en noviembre de 2010 en las parcelas dentro y fuera de la malla sombra cuando alcanzaron una altura de 10 cm.

Cada parcela con dimensiones de 20\*30 m con surcos de 20 m de longitud con un espacio entre planta de 30 cm. Ambas parcelas se sembraron con los mismos cultivares bajo el mismo diseño experimental, para ambas se instaló un sistema de irrigación presurizada por goteo antes del trasplante. El riego se aplicó tres veces por semana, con una cantidad total durante la experimentación de 91.14 L por planta. Desde el trasplante las plantas fueron fertilizadas con un producto orgánico comercial de extractos de algas marinas (40% de nitrógeno) en dosis de 1 L por 100 L de agua, ácidos

The average, maximum and mean minimum temperatures for the time of the experiment were 19, 20 and 18 °C respectively with 60% relative humidity (November 2010 to April 2011). The structure of anti-aphids mesh was built with galvanized steel tubes, using a mesh of 1610 PME CR, which means consisting of threads 16\*10 cm<sup>2</sup> with holes 0.4\*0.8 mm, color glass 40% shade. The mesh size was 20 m long and 30 m wide.

The condition of light within the shadow mesh was natural. The commercial cultivars of basil used for the experiment Edwina, Emily, Eonwy, Dark opal, Genovese, Italian large leaf, Licorice, Lettuce leaf, Marian, Martina, Mammont sweet, Mrs. Burns, Nufar, Rubin roz, Red rubin, Siam queen ass, Sweet dani (Lemon basil), Sweet genovese, Purple ruffles and Thai. The seeds were obtained from the company Vis Seed Company Inc. (Arcadia, CA, USA). All cultivars were germinated in plastic seedbeds 200 cavities were filled with same commercial substrate Sunshine Mix #3 Soil (Sun Gro Horticulture Products, Canada Ltd). The seedlings were watered every other day and fertilized three times with an organic product based on algae (40% nitrogen) at a dose of 3.5 mL L<sup>-1</sup> of water and leachate vermicompost at 0.5 L in 100 L of water. The plants were transplanted in November 2010 on the parcels in and out of the shadow mesh when they reached a height of 10 cm.

Each plot with dimensions of 20\*30 m with rows of 20 m in length with a plant spacing of 30 cm. Both plots were planted with the same cultivars under the same experimental design for both was installed an irrigation drip pressurized before transplantation. The irrigation was applied three times a week, with a total amount during experimentation of 91.14 L per plant. Since the transplant plants were fertilized with a commercial organic product of seaweed extracts (40% nitrogen) in doses of 1 L per 100 L of water, fulvic and humic acids in doses of 1 L in 500L of water (3% nitrogen). The measurements were initiated when a homogeneous plant growth, 100 days after transplantation (DDT) expressed. The experiment was carried out until April 2011.

The gas exchange variables was measured with an equipment (IRGA) LCpro-SD Portable Photosynthesis System with a camera broad-leaf leaf chamber (ADC, Hoddesdon, Herts, UK) on a sheet completely turgid and healthy on completely sunny days. Two measurements were taken one in February and one in April. They were recorded with equipment stomatal conductance (g, mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), photosynthetic rate (A, μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), transpiration ((E, mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>),

fúlvicos y húmicos en dosis de 1 L en 500L de agua (3% de nitrógeno). Las mediciones se iniciaron cuando se mostró un crecimiento homogéneo de las plantas, 100 días después del trasplante (DDT). El experimento se realizó hasta el mes de abril del 2011.

Se midieron variables de intercambio de gases con un equipo (IRGA) LCpro-SD Portable Photosynthesis System con una cámara broad-leaf leaf chamber (ADC, Hoddesdon, Herts, UK) en una hoja completamente turgente y sana en días completamente soleados. Se realizaron dos mediciones una en el mes de febrero y una en abril. Se registraron con el equipo la conductancia estomática ( $g, \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), tasa fotosintética ( $A, \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiración ( $E, \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), temperatura de la hoja ( $T_h, ^\circ\text{C}$ ) y variables microclimáticas como radiación fotosintéticamente activa (PAR,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), humedad relativa (HR, %) y temperatura ambiente ( $T_a, ^\circ\text{C}$ ). Se calculó el déficit de presión de vapor (DPV mbar) a través de la ecuación 'e' de acuerdo a la ecuación de Milthorpe y Moorby (1979) usando cada dato de humedad relativa. Se obtuvo la biomasa expresada en peso fresco por planta cuando la planta alcanza su tamaño comercial 30 días posteriores a la poda de formación.

Se realizaron un total de cuatro cortes (cada 20 días) (enero, febrero, marzo y abril) durante la etapa vegetativa sin alcanzar la floración cada corte correspondió a 33 plantas de cada cultivar para cada sistema de cultivo a cielo abierto y malla sombra. Las plantas se cortaron arriba de la parte lignificada del tallo, se obtuvo el peso fresco con una balanza digital. Los datos de enero y febrero se analizaron juntos como un solo tiempo, así como los de marzo y abril.

Los experimentos se establecieron en un arreglo completamente al azar con dos sistemas de producción (cielo abierto y malla sombra) como tratamientos incluyendo los 20 cultivares de albahaca como un segundo factor de variación. Se obtuvieron cuatro replicas para cada variable fisiológica y microclimática. Los datos se compararon mediante un análisis de varianza multivariado y de un solo factor (Anova). Las diferencias de las medias se compararon mediante una prueba de Fisher LSD considerándose diferente cuando una  $p < 0.05$ . Se realizó un análisis de correlación para variables fisiológicas con un nivel de significancia de  $p < 0.05$ . Todos los análisis se realizaron con un programa de computo de Statistica para windows (Statsoft ver. 10).

leaf temperature ( $T_h, ^\circ\text{C}$ ) and microclimatic variables as photosynthetically active radiation (PAR,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), relative humidity (HR, %) and temperature ( $T_a, ^\circ\text{C}$ ). The vapor pressure deficit (DPV mbar) was calculated using the equation 'e' according to the equation Milthorpe and Moorby (1979) using each data relative humidity. The biomass was obtained expressed in fresh weight per plant when the plant reached its commercial size 30 days after formation pruning.

A total of four cuts (every 20 days) (January, February, March and April) were made during the vegetative stage without reaching flowering each cut corresponded to 33 plants of each cultivar for each cropping system open sky and mesh shadow. The plants were cut above the lignified part of the stem, fresh weight with a digital scale was obtained. The January and February data were analyzed together as a single time, as well as March and April.

The experiments were established in a completely random arrangement with two production systems (open sky and shade mesh) as treatments including 20 cultivars of basil as a second factor of variation. Four replicates were obtained for each physiological variable and microclimatic. The data were compared using multivariate analysis of variance and single factor (Anova). The differences in means were compared using Fisher LSD test considered different when  $p < 0.05$ . A correlation analysis was performed for physiological variables with a significance level of  $p < 0.05$ . All analyzes were performed with Statistica for Windows (StatSoft ver. 10).

## Results and discussion

### Microenvironmental variables

The microclimatic conditions measured during the time of the two measurements (February and April) an hour each for each cropping system observed statistically significant differences between the two cropping systems. The photosynthetically radiation ( $F_{1,318} = 141.23; p = 0.0000$ ) and the relative humidity ( $F_{1,318} = 19.33; p = 0.00001$ ) were higher in the plot opencast (PCA) than within the shadow mesh (PMS) with differences  $467 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  and 3%, respectively. The air temperature ( $F_{1,318} = 26.65; p = 0.00000$ ) and vapor pressure deficit ( $F_{1,318} = 2620.3; p = 0.00006$ ) were higher in the shadow mesh (PMS) than the plot opencast (PCA) with differences of  $2.8 ^\circ\text{C}$  and 6 mbar (Table 1).

## Resultados y discusión

### Variables microambientales

Las condiciones microclimáticas medidas durante el tiempo de las dos mediciones (febrero y abril) de una hora cada uno para cada sistema de cultivo observó diferencias estadísticamente significativas entre los dos sistemas de cultivo. La radiación fotosintéticamente ( $F_{1,318} = 141.23$ ;  $p = 0.0000$ ) y la humedad relativa ( $F_{1,318} = 19.33$ ;  $p = 0.00001$ ) fueron más altas en la parcela a cielo abierto (PCA) que dentro de la malla sombra (PMS) con diferencias de  $467 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y 3%, respectivamente. La temperatura del aire ( $F_{1,318} = 26.65$ ;  $p = 0.00000$ ) y déficit de presión de vapor ( $F_{1,318} = 2620.3$ ;  $p = 0.00006$ ) fueron mayores dentro de la malla sombra (PMS) que la parcela a cielo abierto (PCA) con diferencias de  $2.8^\circ\text{C}$  y 6 mbar (Cuadro 1).

### Producción de biomasa

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en la interacción sistema de producción \* cultivar en la producción de biomasa fresca por planta ( $F_{1,19} = 3.38$ ;  $p = 0.0000$ ), los valores mayores de biomasa fresca entre sistemas PCA y PMS correspondieron a la PMS ( $F_{1,19} = 18.82$ ;  $p = 0.0000$ ). Los análisis por cultivar mostraron diferencias significativas ( $F_{1,19} = 10.89$ ;  $p = 0.0000$ ) en nueve de ellos incrementando su biomasa fresca por planta como efecto positivo dentro de la parcela PMS (Nufar, Mammont sweet, Edwina, Emily, Eowny, Marian, Mrs. Burns, Purple ruffles, Lettuce leaf and Siam queen ass) (Cuadro 2). Donde los cultivares Mr. Burns, Nufar, and Lettuce leaf presentaron los mayores valores. Tres cultivares de albahaca presentaron una mayor producción de biomasa fresca por planta en la PCA donde el cultivar Thai registró el mayor valor (Cuadro 2). Los ocho cultivares restantes no presentaron valores muy similares en la producción de biomasa fresca por planta entre los dos sistemas de producción (Red Rubin, Dark Opal, Genovese, Sweet Dany, Licorice, Rubin Rose).

Estas diferencias en la producción de biomasa fresca son un reflejo de diferentes estrategias fisiológicas de adaptación al ambiente por cada cultivar. La adaptación de plantas a los cambios ambientales requieren respuestas con ajustes fisiológicos, tales respuestas pueden variar debido a información intrínseca o extrínseca de las plantas. Las intrínsecas incluyen aspectos genéticos que pueden ser inducidos o constitutivos (Albrizio y Steduto, 2005). La

### Cuadro 1. Diferencia de las condiciones microclimáticas promedio para cada sistema de cultivo, en malla sombra (PMS) y cielo abierto (CA).

Table 1. Difference in average microclimatic conditions for each cropping system within the mesh shadow (PMS) and the plot opencast (CA).

Condiciones microclimáticas	Sistema de producción	
	PCA	PMS
Radiación fotosintéticamente activa ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	1419 a	952 b
Temperatura del aire ( $^\circ\text{C}$ )	33.6 b	36.4 a
Humedad relativa (%)	27 a	24 b
Déficit de presión de vapor (DPV) (mbar)	20 b	26 a

Medias con letras distintas por renglón difieren estadísticamente (Fisher LSD,  $p = 0.05$ ).

### Biomass production

The results showed statistically significant differences in the interaction production system \* cultivated in fresh biomass production per plant ( $F_{1,19} = 3.38$ ;  $p = 0.0000$ ), the highest values of fresh biomass between PCA and PMS systems corresponded to the PMS ( $F_{1,19} = 18.82$ ;  $p = 0.0000$ ). The analysis showed significant differences cultivar ( $F_{1,19} = 10.89$ ;  $p = 0.0000$ ) in nine of them increasing their fresh biomass per plant as a positive effect within the plot PMS (Nufar, Mammont sweet, Edwina, Emily, Eowny, Marian, Mrs. Burns, Purple ruffles, Lettuce leaf and Siam queen ass) (Table 2). Where the crops Mr. Burns, Nufar, and Lettuce leaf had the highest values. Three cultivars of basil had a higher production of fresh biomass per plant in the PCA where the cultivate Thai registered the highest value (Table 2). The remaining eight cultivars did not present very similar values in the production of fresh biomass per plant between the two systems (Red Rubin, Dark Opal, Genovese, Sweet Dany, Licorice, Rubin Rose).

These differences in the production of fresh biomass are a reflection of different physiological environment adaptation strategies for each cultivar. The plant adaptation to environmental changes require adjustments physiological responses, such responses may vary due to intrinsic or extrinsic information from plants. The intrinsic include genetic aspects that may be induced or constitutive (Albrizio y Steduto, 2005). The extrinsic

respuesta extrínseca incluye adaptaciones morfológicas que se refieren a la variación en las dimensiones en los órganos de la planta. En este sentido las plantas que pertenecen a la misma especie y género, pueden desarrollar diferentes mecanismos fisiológicos y morfológicos que le permitan una producción exitosa bajo diferentes condiciones ambientales (Phakamas *et al.*, 2010).

response includes morphological adaptations relating to variation in the dimensions in the plant organs. In this sense plants belonging to the same species and gender, they can develop different physiological and morphological mechanisms that allow a successful production under different environmental conditions (Phakamas *et al.*, 2010).

**Cuadro 2. Respuesta de la interacción de los factores sistema de producción\*cultivar en la tasa de fotosíntesis (A), conductancia estomática (g), temperatura de la hoja (Th), transpiración (E) y producción de biomasa fresca (BF).**

**Table 2. Response factors interact production system \* cultivating photosynthetic rate (A), stomatal conductance (g), leaf temperature (Th), sweating (E) and production of fresh biomass (BF).**

Sistema de cultivo	Cultivar	A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	g ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ns	Th ( $^{\circ}\text{C}$ ) ns	E ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ns	BF (g planta $^{-1}$ )
PMS	Nufar	11.5 abcde	0.23a	33.7a	4.4a	334.9ab
PMS	Mammont	4.3 e	0.09 a	34 a	2.7 a	274.4 bcd
PMS	Edwina	13.08 abcde	0.26 a	36.5 a	6.4 a	211 defgh
PMS	Emily	14.8 abcd	0.30 a	36.8 a	6.9 a	194 efghijk
PMS	Eonwy	12.5 abcde	0.26 a	37 a	6.7 a	165 ghijklmno
PMS	Genovese	11.48 abcde	0.2 a	30.5 a	3.6 a	189 ghij
PMS	Marian	8.6 abcde	0.12 a	32 a	2.8 a	272 cde
PMS	Martina	8 abcde	0.15 a	33.6 a	4.1 a	118 lmnopq
PMS	Rubin roz	8.6 abcde	0.24 a	31.7 a	4.4 a	133 ijklmnop
PMS	Red Rubin	7.4 abcde	0.24 a	37.1 a	6.5 a	106 nopq
PMS	Mrs. Burns	12.6 abcde	0.22 a	32.8 a	3.9 a	344.7 a
PMS	Sweet d.	12 abcde	0.21 a	30.8 a	3.7 a	198 efghi
PMS	Sweet g.	9.6 abcde	0.17 a	32.2 a	3.7 a	255 def
PMS	Thai	17.68 a	0.34 a	34 a	6 a	166 ghijklmno
PMS	Italian l.	11 abcde	0.24 a	34.7 a	5 a	149 hijklmnop
PMS	Purple r.	5.11 cde	0.23 a	34.9 a	5.3 a	101 opq
PMS	Licorice	15.77 ab	0.34 a	34.5 a	6 a	171 ghijklmn
PMS	Lettuce l.	6.03 bcde	0.14 a	33.5 a	3.4 a	318 abc
PMS	Dark opal	10.8 abcde	0.4 a	36.6 a	7.4 a	117 lmnopq
PMS	Siam q.a.	5.7 bcde	0.1 a	32.7 a	3 a	144 hijklmnop
PCA	Nufar	11.6 abcde	0.21 a	36.6 a	4.8 a	200 fghi
PCA	Mammont	6.5 bcde	0.13 a	36.9 a	4.3 a	173 ghijklmn
PCA	Edwina	11.7 abcde	0.19 a	39.3 a	5.9 a	162 ghijklmno
PCA	Emily	9.3 abcde	0.21 a	39.9 a	5.8 a	157 ghijklmno
PCA	Eonwy	12 abcde	0.24 a	39.8 a	6.3 a	132 jklmnop
PCA	Genovese	6.7 bcde	0.15 a	30.9 a	3.2 a	173 ghijklm
PCA	Marian	15.1 abc	0.19 a	34.8 a	4.5 a	186 fghijk
PCA	Martina	11.3 abcde	0.2 a	36.3 a	5 a	153 ghijklmno

Medias con letras distintas por columna difieren estadísticamente (Fisher LSD,  $p=0.05$ ).

**Cuadro 2. Respuesta de la interacción de los factores sistema de producción\*cultivar en la tasa de fotosíntesis (A), conductancia estomática (g), temperatura de la hoja (Th), transpiración (E) y producción de biomasa fresca (BF). Continuación.**  
**Table 2. Response factors interact production system \* cultivating photosynthetic rate (A), stomatal conductance (g), leaf temperature (Th), sweating (E) and production of fresh biomass (BF). Continuation.**

Sistema de cultivo	Cultivar	A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	g ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ns	Th ( $^{\circ}\text{C}$ ) ns	E ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ns	BF (g planta $^{-1}$ )
PCA	Rubin roz	7.4 abcde	0.26 a	32.5 a	4.8 a	122 klmnopq
PCA	Red rubin	7.6 abcde	0.33 a	39.2 a	8.4 a	109 mnopq
PCA	Mrs. Burns	15.6 ab	0.3 a	35.5 a	5.2 a	241 def
PCA	Sweet d.	12 abcde	0.23 a	31.2 a	4.1 a	200 fghi
PCA	Sweet g.	9.2 abcde	0.15 a	35.2 a	4 a	142 hijklmnop
PCA	Thai	13.67 abcde	0.25 a	36.5 a	5.3 a	266 cd
PCA	Italian l.	11.49 abcde	0.17 a	37.3 a	5 a	178 fghijkl
PCA	Purple r.	4.7 de	0.16 a	36.6 a	5.2 a	66 q
PCA	Licorice	11 abcde	0.24 a	36.9 a	5.7 a	190 fghij
PCA	Lettuce l.	8 abcde	0.16 a	32.6 a	3.6 a	148 ghijklmnop
PCA	Dark opal	9 abcde	0.30 a	39.3 a	7.6 a	122 klmnopq
PCA	Siam q.a.	12.2 abcde	0.18 a	35.6 a	4.8 a	87 pq

Medias con letras distintas por columna difieren estadísticamente (Fisher LSD,  $p=0.05$ ).

### Variables fisiológicas

Los análisis estadísticos mostraron diferencias estadísticas solo para la variable de la temperatura de la hoja (Th) entre ambientes con una diferencia de 3.5 °C (Cuadro 3), registrándose valores de 34 °C dentro de la parcela PMS y 30.5 °C en la PCA (Cuadro 2). El resto de las variables fisiológicas entre los ambientes que se forman en cada sistema de producción no presentaron diferencia significativas, ni en la interacción de los sistemas productivos\*cultivares, excepto para la tasa fotosintética (A) (Cuadro 2) donde el cultivar Thai presentó su valor mayor dentro de PMS y el cultivar Mrs. Burns en la PCA (Cuadro 2). Diferencias estadísticas de las variables fisiológicas se observaron entre cultivares para tasa fotosintética (A) (Cuadro 3). El cultivar Dark opal presentó los mayores valores de conductancia estomática (g) y Mammont sweet los menores. Los cultivares Dark opal y Red rubin mostraron los mayores valores de transpiración (E). En cuanto a la temperatura de la hoja los valores mayores correspondieron a los cultivares Emily, Eowny y Red rubin, sin embargo Edwyny y Dark opal mostraron diferencias mínimas con respecto a los tres cultivares mencionados. La temperatura de la hoja registró una diferencia de 7.7 °C entre el valor mínimo que correspondió al cultivar Genovese, con respecto al valor máximo de Eowny (Cuadro 4).

### Physiological variables

Statistical analyzes showed statistical difference only for the variable leaf temperature (Th) between environments with a difference of 3.5 °C (Table 3), registering values of 34 °C within the plot PMS and 30.5 °C in the PCA (Table 2). The rest of the physiological variables between environments that form in each production system showed no significant difference, or the interaction of production systems\*cultivars, except for the photosynthetic rate (A) (Table 2) where the cultivar Thai presented its greatest value in PMS and Mrs. Burns cultivate in the PCA (Table 2). The statistical differences of physiological variables were observed between cultivars for photosynthetic rate (A) (Table 3). The Dark opal cultivate presented the highest values of stomatal conductance (g) and Mammont sweet the minors. The Dark opal and Red rubin cultivars showed the highest values of transpiration (E). As the temperature of the sheet the highest values corresponded to Emily, Eowny and Red rubin cultivars, however Edwyny and Dark opal showed minimal differences compared to the above three cultivars. The temperature of the sheet recorded a 7.7 °C difference between the minimum value corresponded to cultivate Genovese, with respect to the maximum value of Eowny (Table 4).



**Cuadro 3. Análisis de varianza de dos factores para variables fisiológicas, tasa fotosintética (A), temperatura de la hoja (Th), transpiración (E) y conductancia estomática (g).****Table 3. Analysis of variance of two factors for physiological variables, photosynthetic rate (A), leaf temperature (Th), transpiration (E) and conductance stomatal (g).**

Variables fisiológicas	df	A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		Th ( $^{\circ}\text{C}$ )		E ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )		g ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	
		F	P> F	F	P> F	F	P> F	F	P> F
Sistema de producción (SP)	1	0.006	ns	21.29	***	2.74	ns	0.65	ns
Cultivares (C)	19	5.6	***	5	***	6.33	***	4.19	***
SP*C	19	1.94	***	0.28	ns	0.76	ns	1.20	ns
Error	280	0.06		15.7		4.26		0.014	
CV		12		12		13		31	

ns= no significativa; \*\*\*= significativa.

**Cuadro 4. Diferencias estadísticas de variables fisiológicas entre cultivares.****Table 4. Statistical differences of physiological variables between cultivars.**

Cultivar	A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	g ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Th ( $^{\circ}\text{C}$ )	E ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
Nufar	11.6 bcd	0.22 bcdefg	35.2 def	4.6 defg
Mammont sweet	5.4 g	0.11 h	35.5 bcdef	3.5 g
Edwina	12.3 abc	0.23 bcdef	38 abcd	6.2 abc
Emily	12.1 bcd	0.25 bcde	38.3 ab	6.4 abc
Eonwy	12.2 bcd	0.25 bcde	38.4 a	6.5 ab
Genovese	9.1 abcde	0.18 efgh	30.7 h	3.4 g
Marian	11.8 bcd	0.16 fgh	33.4 efghi	3.6 fg
Martina	9.6 cdef	0.17 efgh	35 efg	4.5 defg
Rubin roz	8 efg	0.25 abc	32.1 ghi	4.6 defg
Red rubin	7 fg	0.28 abc	38.2 a	7.5 a
Mrs. Burns	14.1 ab	0.26 bcd	34.1 efg	4.6 defg
Sweet dani	12 bcd	0.22 bcdefg	31 hi	4 efg
Sweet genovese	9.4 cdef	0.16 fgh	33.7 efgh	4 efg
Thai	15.6 a	0.3 ab	35.2 cdef	5.6 bcd
Italian large leaf	11.3 bcde	0.2 cdefg	36 abcdef	5 bcdef
Purple ruffles	4.9 g	0.19 defgh	35.8 abcdef	5.3 abcd
Licorice	13.3 ab	0.29 ab	35.7 abcdef	5.8 bcd
Lettuce leaf	6.9 fg	0.15 fgh	33.1 fgghi	3.5 g
Dark opal	10 cdef	0.35 a	38 abcd	7.5 a
Siam queen ass	9 def	0.14 fg	34.1 efg	4 efgt

Medias con letras distintas por columna difieren estadísticamente (Fisher LSD,  $p=0.05$ ).

## Relación entre variables fisiológicas y biomasa fresca

En relación a las variables fisiológicas y el resto de las variables evaluadas en el presente estudio se observó que los resultados de la producción de biomasa fresca por planta en este estudio mostraron un mayor valor para los cultivares Mammont Sweet, Marian, Mrs. Burns, Lettuce leaf y Siam Queen en la PMS, registraron también una mayor tasa fotosintética comparada con la PCA (Cuadro 2). Esta respuesta ha sido observada en otros cultivos incluyendo especies silvestres que parecen tomar ventaja de la condición menor luz con una mayor eficiencia en su tasa fotosintética como una estrategia de aclimatación a dichos ambientes (Dai *et al.*, 2009; Craven *et al.*, 2010; Mu *et al.*, 2010; Lawson *et al.*, 2012).

A diferencia de los cultivares anteriores, los cultivares Nufar, Eowny and Sweet Genovese que también se encuentran dentro de los que produjeron mayor biomasa en PMS no presentaron mayor tasa fotosintética (Cuadro 2). Estos resultados son similares a los encontrados por Sassenrathcole y Percy (1994) quienes atribuyen que esta respuesta está más relacionada con la eficiencia en la conversión de la energía incluyendo la capacidad de carboxilación, propiedades cinéticas, la expresión y regulación de enzimas involucradas en la fotosíntesis. Se han observado grandes variaciones en los valores máximos de la tasa fotosintética en cultivos como el trigo que van de los  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a los  $29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  como resultado de una diferente capacidad bioquímica (Wullschleger, 1993). Estas variaciones se observaron también en este trabajo, donde por ejemplo, el cultivar Thai presentó un máximo valor de tasa fotosintética (A) en PMS ( $17.18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) que no correspondió a una mayor producción de biomasa fresca, y un valor menor de A en PCA ( $13.67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) con una mayor producción de biomasa fresca, lo cual probablemente corresponde a una diferente capacidad bioquímica (Wullschleger, 1993).

Lo anterior sucedió también para los cultivares Martina, Italian large leaf y Licorice (Cuadro 2). De acuerdo a los resultados en la producción de biomasa fresca de este trabajo fue similar en los dos sistemas para los cultivares Genovese, Sweet dani, Red rubin, Licorice y Dark opal, sin embargo, en las variables fisiológicas se observó que los cultivares Genovese, Licorice y Dark opal incrementaron sus tasas de fotosíntesis en la PCA (Cuadro 2). Dicho incremento parece que no fue suficiente para incrementar la capacidad bioquímica y que se expresara en una mejora en la producción de biomasa fresca. Los resultados de

## Relationship between physiological variables and fresh biomass

In relation to physiological variables and the rest of the variables evaluated in this study we found that the results of the production of fresh biomass per plant in this study showed a higher value for cultivars Mammont Sweet, Marian, Mrs. Burns, Lettuce leaf and Siam Queen in PMS, also recorded a higher photosynthetic rate compared to the PCA (Table 2). This response has been observed in other crops including wild species that seem to take advantage of the condition less light with greater efficiency in their photosynthetic rate as a strategy of acclimation to these environments (Dai *et al.*, 2009; Craven *et al.*, 2010; Mu *et al.*, 2010; Lawson *et al.*, 2012).

Unlike the previous cultivars, the Nufar, Eowny and Sweet Genovese cultivars that are also found within that produced more biomass not PMS had higher photosynthetic rate (Table 2). These results are similar to those found by Sassenrathcole and Percy (1994) who attribute this response is more related to the efficiency of energy conversion including the ability to carboxylation, kinetic properties, expression and regulation of enzymes involved in photosynthesis. There have been large variations in the maximum values of the photosynthetic rate in crops such as wheat ranging from  $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  at the  $29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  as a result of a different biochemical capacity (Wullschleger, 1993). These variations were also observed in this work, where for example, the cultivate Thai presented a maximum value of photosynthetic rate (A) in PMS ( $17.18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) did not correspond to increased production of fresh biomass, and a lower value of PCA ( $13.67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) with increased production of fresh biomass, which probably corresponds to a different biochemical capacity (Wullschleger, 1993).

This also happened to cultivars Martina, Italian large leaf and Licorice (Table 2). According to results in the production of fresh biomass of this work was similar in the two systems for Genovese cultivars, Genovese, Sweet dani, Red rubin, Licorice and Dark opal, however, in physiological variables was observed that the cultivars Genovese, Licorice and Dark opal increased their rates of photosynthesis in the PCA (Table 2). This increase seems that was not sufficient to increase capacity and biochemistry that are expressed in an improvement in the production of fresh biomass. The results of this study are consistent with those found in other studies basil regarding the differential responses of cultivars to different environmental conditions on photosynthesis and

este trabajo son consistentes a los encontrados en otros estudios en albahaca en cuanto a las respuestas diferenciales de cultivares a diversas condiciones ambientales sobre fotosíntesis y producción de biomasa (Zheljazkov *et al.*, 2008; Said-Al Ahl *et al.*, 2010; Attia *et al.*, 2011; Barbieri *et al.*, 2012; Heidari 2012; Murillo-Amador *et al.*, 2013).

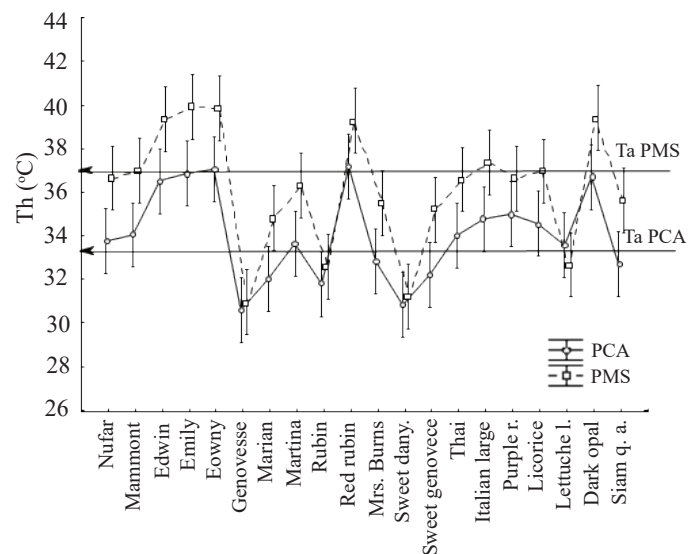
Los resultados mostraron que la temperatura promedio dentro de la PMS fue 2.8 °C grados mayor que en la PCA (Cuadro 1), lo cual repercutió también en la temperatura de la hoja de todos los cultivares de albahaca presentando valores de entre los 30.7 °C y 38.4 °C (Cuadro 2), por encima de temperaturas óptimas reportadas para otros cultivos (Kim *et al.*, 2007; Schonhof *et al.*, 2007; Mathur *et al.*, 2011). De acuerdo a Sage y Kubien (2007), Vermeulen *et al.* (2012) y Lin *et al.* (2012), al presentarse temperaturas tan altas, la planta necesita desencadenar mecanismos que le permitan un efecto de enfriamiento, aumentando la transpiración mediante la apertura estomática. Esta estrategia parece haberse presentado en los cultivares Genovesse, Marian, Martina (solo en la PCA), Mrs. Burns, Sweet dany, Sweet genovesse, Purple ruffles, Lettuce leaf y Siam q. ass. (Figura 1) donde los resultados muestran un valor significativo del análisis de correlación entre E y g (Cuadro 5), y cuya temperatura de la hoja se registró por debajo de la temperatura ambiente sobre todo en condiciones dentro de la PMS (con temperaturas mayores que la PCA) (Cuadro 2) (Figura 1).

En casos como los cultivares Edwina, Eowny, Emily, Dark opal, Licorice, Italian large y Thai no se presentaron valores significativos para el coeficiente de correlación (Cuadro 5). Lo anterior implicó para Edwina, Eowny, Emily y Dark opal el registro de temperaturas de la hoja por arriba de la temperatura ambiente en ambas parcelas, y para Licorice, Italian large y Thai, temperaturas de la hoja igual que la temperatura ambiente dentro de la PMS y por arriba de la temperatura ambiente de la PCA (Figura 1). En este sentido una relación importante de analizar es la de la tasa de fotosíntesis (A) con respecto a la conductancia estomática (g).

Lin *et al.* (2012) propone un modelo para esta relación (A-g) como una explicación de la relación existente entre la fotosíntesis y la temperatura (A-T), misma que representa la respuesta de la planta al clima, donde cada cambio en la relación de A-g tiene un mayor impacto en la relación A-T. Esta última y su variabilidad es el resultado de la aclimatación a la temperatura, que involucra cambios del organismo tanto a corto como largo plazo (evolutivos) y su adaptación a la temperatura a diferentes ambientes (Lin *et al.*, 2012).

biomass production (Zheljazkov *et al.*, 2008; Said-Al Ahl *et al.*, 2010; Attia *et al.*, 2011; Barbieri *et al.*, 2012; Heidari 2012; Murillo-Amador *et al.*, 2013).

The results showed that the average temperature inside the PMS was 2.8 °C higher degree than in the PCA (Table 1), which also affected the leaf temperature of all cultivars of basil presenting values between 30.7 °C and 38.4 °C (Table 2), above optimum temperatures reported for other crops (Kim *et al.*, 2007; Schonhof *et al.*, 2007; Mathur *et al.*, 2011). According to Sage and Kubien (2007), Vermeulen *et al.* (2012) and Lin *et al.* (2012), by presenting such high temperatures, the plant needs trigger mechanisms that allow a cooling effect, increasing transpiration through stomatal opening. This strategy appears to have occurred in cultivars the Genovesse, Marian, Martina (only in the PCA), Mrs. Burns, Sweet dany, Sweet genovesse, Purple ruffles, Lettuce leaf and Siam q. ass. (Figure 1) where the results show a significant value of correlation analysis between E and g (Table 5), and whose sheet temperature was recorded below room temperature especially in conditions within the PMS (with higher temperatures PCA) (Table 2) (Figure 1).



**Figura 1. Temperatura de la hoja (Th) de cada cultivar en cada sistema de producción, con malla sombra (PMS) y a cielo abierto (PCA).** Las flechas horizontales indican la temperatura ambiente (Ta) promedio en cada sistema de producción 36.4 °C PMS y 33.6 °C PCA. Las barras verticales representan el error estándar de la media.

**Figure 1. Leaf temperature (Th) of each cultivar in each production system, within the shadow mesh plot (PMS) and the plot opencast (PCA).** The horizontal arrows indicate the average ambient temperature (Ta) in each production system 36.4 °C PMS and 33.6 °C PCA. The vertical bars represent the standard error of the mean.

**Cuadro 5. Valores del coeficiente de correlación de Pearson de la tasa fotosintética ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y la conductancia estomática ( $g$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y de la correlación entre transpiración ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y conductancia estomática ( $g$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).**

**Table 5. Values of correlation coefficient of Pearson of the photosynthetic rate ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) and stomatal conductance ( $g$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) and the correlation between transpiration ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) and stomatal conductance ( $g$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).**

Cultivares	A*g		g*E	
	PCA	PMS	PCA	PMS
Thai	0.91***	0.92***	0.13n	0.27ns
Mrs. Burns	0.59ns	0.9***	0.6ns	0.81***
Nufar	0.94***	0.92***	0.71***	0.71***
Dark opal	0.71ns	0.85***	0.15ns	0.27ns
Purple ruffles	0.15ns	0.19ns	0.85***	0.93***
Red rubin	0.78***	0.39ns	0.29ns	0.69***
Rubin roz	0.53ns	0.9***	0.84***	0.95***
Mammont sweet	0.49ns	0.29ns	0.89***	0.9***
Lettuce leaf	0.34ns	0.87***	0.89***	0.86***
Edwina	0.87***	0.91***	0.19ns	0.61ns
Emily	0.9***	0.61ns	0.16ns	0.69ns
Eowny	0.92***	0.7ns	0.29ns	0.59ns
Licorice	0.86***	0.86***	0.11ns	0.6ns
Italian large	0.95***	0.78	0.19ns	0.26ns
Martina	0.63ns	0.93***	0.89***	0.28ns
Genovese	0.93***	0.86***	0.92***	0.86***
Sweet dani	0.92***	0.67ns	0.87***	0.98***
Marian	0.74***	0.74***	0.87***	0.74***
Sweet genovese	0.79***	0.68ns	0.72***	0.92***
Siam queen ass	0.91***	0.67ns	0.91***	0.94***

ns= no significativo, \*\*\*= significativo estadísticamente con  $p < 0.05$ .

Consistentes con otros estudios (Yamori 2006; Lin *et al.*, 2012) los resultados presentados en este trabajo indican una relación lineal entre A-g en cultivares desarrollados en la PMS (Mrs. Burns, Dark Opal, Red Rubin, Lettuce, Martina), algunos en la PCA (Emily, Eowny, Genovese, Sweet dany Marian) y otros en ambos ambientes PCA y PMS (Thai, Nufar, Edwin, Licorice e Italian) (Cuadro 5).

Asu vez, la relación de la tasa fotosintética y la temperatura de la hoja depende de la concentración intracelular de  $\text{CO}_2$ , al mismo tiempo que el  $\text{CO}_2$  es regulado por la apertura estomática (Yamori, 2006). De acuerdo a lo anterior los

In cases such as cultivars Edwina, Eowny, Emily, opal Dark, Licorice, large Italian and Thai were not are presented values significant for the correlation coefficient (Table 5). This implied to Edwina, Eowny, Emily and Dark opal the temperature recording sheet above room temperature in both plots, and Licorice, Italian large and Thai, temperature of the sheet as the ambient temperature within the PMS and above the ambient temperature of the PCA (Figure 1). In this respect an important relationship is to analyze the rate of photosynthesis (A) with respect to stomatal conductance (g).

Lin *et al.* (2012) proposed a model for this relationship (A-g) as an explanation of the relationship between photosynthesis and temperature (A-T), it represents the plant response to climate, where every change in the ratio of A-g has greatest impact on the relationship A-T. The latter and its variability is the result of acclimatization to temperature, changes in the body that involves both short and long term (evolutionary) and temperature adaptation to different environments (Lin *et al.*, 2012).

Consistent with other studies (Yamori 2006; Lin *et al.*, 2012) the results presented in this paper indicate a linear relationship between A-g in cultivars developed in the PMS (Mrs. Burns, Dark Opal, Red Rubin, Lettuce, Martina), some in the PCA (Emily, Eowny, Genovese, Sweet dany Marian) and others in both environments PCA and PMS (Thai, Nufar, Edwin, Licorice and Italian) (Table 5).

In turn, the ratio of photosynthetic rate and the temperature of the sheet depends on the intracellular concentration of  $\text{CO}_2$ , while the  $\text{CO}_2$  is regulated by the stomatal opening (Yamori, 2006). According to the above results of this study showed that physiologies strategies of some cultivars were more successful than others in terms of increased production of fresh biomass, which maintained a stomatal opening so without compromising their photosynthetic rate and consequently production fresh biomass.

## Conclusions

The physiological strategies to adapt to arid conditions are different between twenty cultivars studied, although of the same species. Which offers greater possibility in the case of basil cultivars use those best suited to the conditions of the region. Nine cultivars significantly increased fresh biomass production under protected agriculture system, even more

resultados de este trabajo mostraron que las estrategias fisiológicas de algunos cultivares fueron más exitosas que otras en términos de una mayor producción de biomasa fresca, donde mantuvieron una apertura estomática tal sin comprometer su tasa fotosintética y en consecuencia la producción de biomasa fresca.

## Conclusiones

Las estrategias fisiológicas para adaptarse a condiciones semiáridas son diferentes entre los veinte cultivares que se estudiaron, aun siendo de la misma especie. Lo que ofrece una mayor posibilidad en el caso de la albahaca de utilizar aquellos cultivares que mejor se adaptan a las condiciones de la región. Nueve cultivares incrementaron significativamente la producción de biomasa fresca bajo sistema de agricultura protegida, incluso más que aquellos que incrementaron su biomasa fresca sin el uso de dicha infraestructura. Lo que lleva a concluir que el uso de infraestructura como mallas sombras o antiáfidos utilizadas en estas zonas favorece el desarrollo de plantas como la albahaca, más allá de la protección como barreras físicas contra plagas.

Las altas temperaturas ambientales, humedad relativa y déficit de vapor que prevalece dentro de estos tipos de agricultura protegida indujeron estrategias fisiológicas en las plantas de albahaca mediante aperturas parciales estomáticas permitiendo la transpiración como mecanismo de enfriamiento sin comprometer el intercambio gaseoso para no repercutir en la producción de biomasa. Las variedades Mrs. Burns, Lettuce leaf y Nufar ofrecen a productores de la región aprovechar su cultivo bajo agricultura protegida; actualmente en la región se siembra la variedad Nufar a cielo abierto, por lo que los resultados obtenidos en este trabajo ofrece nuevas alternativas para diversificar y mejorar los sistemas de producción de albahaca.

## Literatura citada

Albrizio, R. and Steduto, P. 2005. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea I. Radiation use efficiency. *Agric. Forest Meteorol.* 130:254-268.

Attia, H.; Ouhibi, C.; Ellili, A.; Msilini, N.; Bouzar'en, G.; Karray, N. and Lachaa'l, M. 2011. Analysis of salinity effects on basil leaf surface area, photosynthetic activity, and growth. *ActaPhysiol Plant.* 33:823-833.

than those who increased their fresh biomass without the use of such infrastructure. Which leads to the conclusion that the use of infrastructure such as shadows or anti-aphids nets used in these areas favors the development of plants such as basil, beyond physical barriers as protection against pests.

High ambient temperatures, relative humidity and vapor deficit prevailing within these types of protected agriculture induced physiological strategies basil plants by partial openings stomatal allowing perspiration as cooling mechanism without compromising the gas exchange non affect production biomass. The varieties Mrs. Burns, Lettuce leaf and Nufar offer producers in the region use its cultivation under protected agriculture; currently in the region is planted the variety Nufar in opencast, so that the results obtained in this work provides new ways to diversify and improve production systems basil.

*End of the English version*



Kim, S-H.; Gitz, C. D.; Sicher, C. R.; Baker, T. J.; Timlin, J. D. and Reddy, R. V. 2007. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO<sub>2</sub>. *Environ. Exp. Bot.* 61:224-236.

Barbieri, G.; Vallone, S.; Orsini, F.; Paradiso, R.; De Pascale, S.; Negre-Zakharov, F. and Maggio, A. 2012. Stomatal density and metabolic determinants mediate salt stress adaptation and water use efficiency in basil (*Ocimum basilicum* L.). *J Plant Physiol.* 169:1737-1746.

Challinor, A. J.; Wheeler, T. R.; Craufurd, P. Q.; Ferro, C. A. T. and Stephenson, D. B. 2007. Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures. *Agr. Ecosys. Environ.* 119:190-204.

Craven, D.; Gulamhussein, S. and Berlyn, G. P. 2010. Physiological and anatomical responses of *Acacia koa* (gray) seedlings to varying light and drought conditions. *Environ. Exp. Bot.* 69:205-213.

Dai, Y. J.; Shen, Z. G.; Liu, Y.; Wang, L. L.; Hannaway, D. and Lu, H. F. 2009. Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetragymma hemsleyanum* Diels et Gilg. *Environ. Exp. Bot.* 65:177-182.

Ekren, S.; Sönmez, C.; Özçakal, E.; Kukul, K. S. Y.; Bayram, E. and Gürgülü, H. 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.) *Agr. Water Manager.* 109:155-61.

Fabrizio, E. 2012. Energy reduction measures in agricultural greenhouses heating: Envelope, systems and solar energy collection. *Energ. Buildings.* 53:57-63.

Heidari, M. 2012. Effects of salinity stress on growth, chlorophyll content and osmotic components of two basil (*Ocimum basilicum* L.) genotypes. *Afr. J. Biotechnol.* 11:379-384.

- Improna, I.; Hemming, S. and Bota, G. P. A. 2008. Effects of cover properties, ventilation rate, and crop leaf area on tropical greenhouse climate. *Biosyst. Eng.* 99:553-64.
- Khalid, K. A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *Int. Agrophys.* 20:289-296.
- Khoshnevisan, B.; Rafiee, S. and Mousazadeht, H. 2013. Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. *Eur. J. Agron.* 50:29-37.
- Lin, Y-S.; Medlyn, B. E. and Ellsworth, D. S. 2012. Temperature responses of leaf net photosynthesis: the role of component processes. *Tree Physiology.* 32:219-31.
- Lawson, T.; Kramer, M. D. and Raines, A. C. 2012. Improving yield by exploiting mechanisms underlying natural variation of photosynthesis. *Current Opinion Biotechnol.* 23:215-220.
- Mathur, S.; Allakhverdiev, I. S. and Jajoo, A. 2011. Analysis of high temperature stress on the dynamics of antenna size and reducing side heterogeneity of Photosystem II in wheat leaves (*Triticum aestivum*). *Biochimica et Biophysica Acta.* 1807:22-29.
- Milthorpe, F.L. and Moorby, J. 1979. An introduction to crop physiology. Cambridge University Press 2a. Ed. 145 p
- Mousavi, B. A.; Karimian, F. Z. and Bannayan, M. 2011. Modeling individual leaf area of basil (*Ocimum basilicum*) using different methods. *Int. J. Plant. Prod.* 5:439:47.
- Mu, H.; Jiang, D.; Wollenweber, B.; Dai, T.; Jing, Q. and Cao, W. 2010. Long-term low radiation decreases leaf photosynthesis, photochemical efficiency and grain yield in winter wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 196:38-47.
- Murillo-Amador, B.; Nieto-Garibay A.; Troyo-Diéguez, E.; Flores-Hernández A.; Córdoba-Matson, M. V. and Villegas-Espinoza, J. A. 2013. Proximate analysis among 24 *Ocimum* cultivars under two cultivation environments: A comparative study. *J. Food Agric. Environ.* 11:132-138.
- Ojeda-Silvera, C.M.; Murillo-Amador, B.; Reynaldo-Escobar, I. Ma.; Troyo-Diéguez, E.; Ruiz-Espinoza, F. H. and Nieto-Garibay, A. 2013. Water stress on germination and seedling growth of genotypes of sweet basil *Ocimum basilicum* L. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4:229-41.
- Omidbaigi, R.; Mirzaee, M.; Hassani, M. E. and Sedghi, M. M. 2010. Induction and identification of polyploidy in basil (*Ocimum basilicum* L.) medicinal plant by colchicine treatment. *Int. J. Plant Prod.* 4:87-98.
- Ono, E. O.; Rodrigues, J. D.; Barreiro, A. P. and Marques, M. O. M. 2011. Yield and composition of the essential oil of basil on plant growth regulators application. *J. Essent Oil Res.* 3:17-23.
- Osborne, B.; Saunders, M.; Walmsley, D.; Jones, M. and Smith, P. 2010. Key questions and uncertainties associated with the assessment of the cropland greenhouse gas balance. *Agr. Ecosys. Environ.* 139:293-301.
- Pahlavan, R.; Omid, M. and Akram, A. 2012. Energy input-output analysis and application of artificial neural networks for predicting greenhouse basil production. *Energy.* 37:171-76.
- Phakamas, N.; Patanothaia, A.; Pannangpetcha, K.; Jogloya, S. and Hoogenboom, G. 2010. Determination of adaptive responses of peanut cultivars and patterns of cultivar location interaction using the CSM-CROPGRO-Peanut model. *Int. J. Plant Prod.* 4:223-33.
- Qian, T.; Dieleman, J. A.; Elings, A. and Marcelis, L. F. M. 2012. Leaf photosynthetic and morphological responses to elevated CO<sub>2</sub> concentration and altered fruit number in the semi-closed greenhouse. *Sci. Hortic. Amsterdam.* 145:1-9.
- Reyes-Pérez, J. J.; Murillo-Amador, B.; Nieto-Garibay, A.; Troyo-Diéguez, E.; Reynaldo-Escobar, I. Ma. and Puente-Rueda, E. 2013a. Germination and seedling traits of basil varieties (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4:869-80.
- Reyes-Pérez, J. J.; Murillo-Amador, B.; Nieto-Garibay, A.; Troyo-Diéguez, E.; Reynaldo-Escobar, I. Ma.; Rueda-Puente, E. O. and García-Hernández, J. L. 2013b. Salinity tolerance in varieties of basil (*Ocimum basilicum* L.) during the stages of germination, emergence and early growth. *Universidad y Ciencia.* 29:101-12.
- Sage, R. F. and Kubien, D. S. 2007. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant Cell Environ.* 30:1086-106.
- Sassenrathcole, G. F. and Pearcy, R. W. 1994. Regulation of photosynthetic induction state by the magnitude and duration of low-light exposure. *Plant Physiol.* 105:1115-1123.
- Said-Al Ahl, H. A. H.; Meawad, A. A.; Abou-Zeid, E. N. and Ali, M. S. 2010. Response of different basil varieties to soil salinity. *Int. Agrophysics.* 24:183-188.
- Schonhof, I.; Klauring, H.P.; Krumbein, A.; Claußen, W. and Schreiner, M. 2007. Effect of temperature increase under low radiation conditions on phytochemicals and ascorbic acid in greenhouse grown broccoli. *Agric. Ecosys. Environ.* 119:103-111.
- Stanghellini, C.; Jianfeng, D. and Frank, K. 2011. Effect of near-infrared-radiation reflective screen materials on ventilation requirement, crop transpiration and water use efficiency of a greenhouse rose crop. *Biosyst. Eng.* 11:261-71.
- Vanthoor, B. H. E.; Van Henten, E. J.; Stanghellini, C. and de Visser, P. H. B. 2011. A methodology for model-based greenhouse design: Part 3. Sensitivity analysis of a combined greenhouse climate-crop yield model. *Biosyst. Eng.* 110:396-412.
- Vermeulen, K.; Aerts, J. M.; Dekock, J.; Bleyaert, P.; Berckmans, D. and Steppe, K. 2012. Automated leaf temperature monitoring of glasshouse tomato plants by using a leaf energy balance model. *Comput. Electron Agr.* 87:19-31.
- Wullschleger, S. D. 1993. Biochemical limitations to carbon assimilation in C(3) plants - a retrospective analysis of the A/Ci curves from 109 species. *J. Exp. Bot.* 44:907-920.
- Yamori, W.; Noguchi, K.; Hanba, Y. T. and Terashima, I. 2006. Effects of internal conductance on the temperature dependence of the photosynthetic rate in spinach leaves from contrasting growth temperatures. *Plant Cell Physiol.* 47:1069-1080.
- Yasutake, D.; Kimura, C.; Kondo, K.; Inoue, K.; Mori, M.; Yamane, S.; Maeda, M.; Nagare, H. and Fujiwara, T. 2011. Analyzing evapotranspiration components and crop coefficients for catch crop field with small area at different plant densities in a greenhouse. *Environ. Control Biol.* 49:217-25.
- Zheljzakov, V.; Callahan, A. and Cantrell, C. L. 2008. Yield and Oil Composition of 38 Basil (*Ocimum basilicum* L.) Accessions Grown in Mississippi. *Journal Agriculture Food Chem.* 56:241-245.