

CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE ESTÁTICE (*Limonium sinuatum*) Y VIOLA (*Viola cornuta*) EN AMBIENTES CONTRASTANTES

Oscar Javier Ayala-Garay^{1¶}; José Alfredo Carrillo-Salazar¹; Evelia Hernández-García¹;
Elizabeth Díaz-Martínez²; Manuel Livera-Muñoz¹, Gustavo Almaguer-Vargas³

¹Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carretera México- Texcoco, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO. Tel. 01 (595) 952-0200 Ext. 1594.

Correo-e: oayala@colpos.mx ([¶]Autor para correspondencia).

²Licenciatura en Agronomía, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Unidad Xochimilco, Universidad Autónoma Metropolitana, México D.F.

³Departamento de Fitotecnía, Universidad Autónoma Chapingo, km 22.5 Carretera México- Texcoco, Chapingo, Estado de México. C.P. 56200. MÉXICO

RESUMEN

En producción rústica de ornamentales se requiere conocer el efecto medioambiental en la emergencia y crecimiento de plántulas para optimizar el proceso de producción. El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de tres condiciones de producción: un túnel cubierto por polietileno, malla-sombra de 50 % de transmisión de radiación solar y a la intemperie, en el crecimiento de plántulas de estátice y viola, durante el invierno en el Valle de México. Se midieron la temperatura del aire, porcentaje de emergencia (E%), área foliar por planta (AF) y biomasa seca por planta (PS) a los 10, 18, 24, 31 y 35 días después de siembra (dds) en estátice, y 21, 28, 35, 43 y 52 dds en viola; se calcularon las tasas absoluta de crecimiento (TAC), relativa de crecimiento (TRC) y de asimilación neta (TAN). En túnel de polietileno y malla-sombra se tuvieron valores de E % más altos: 95 y 93 % para estátice y 97 y 95 % para viola, respectivamente. En ambas especies existieron dos cinéticas sigmoidales de crecimiento en PS: la cinética de crecimiento en el túnel de polietileno fue la mayor ($P \leq 0.05$) con temperatura media de 19.5 °C y alta oscilación térmica, pero sin heladas. En el túnel de polietileno, las máximas PS, AF y TAC (88 mg-plántula⁻¹, 15.1 cm²-plántula⁻¹ y 7.4 mg·d⁻¹, respectivamente) se observaron a los 35 dds en estátice y a los 52 en viola (43.6 mg-plántula⁻¹, 7.6 cm²-plántula⁻¹ y 2.4 mg·d⁻¹, respectivamente) antes del trasplante. En el túnel de plástico no se presentaron temperaturas inferiores a 0 °C, lo que explica el mayor crecimiento de las plántulas.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Emergencia de plántulas, temperatura del aire, tasa absoluta y relativa de crecimiento.

GROWTH OF STATICE (*Limonium sinuatum*) AND VIOLA (*Viola cornuta*) SEEDLINGS IN CONTRASTING ENVIRONMENTS

ABSTRACT

In order to grow ornamental plants in non-controlled environments, the effect of temperature on seedling emergence and growth must be known in order to optimize plant production. The aim of this research was to compare the growth of statice and viola seedlings, during the winter in the Valley of Mexico, under three production conditions: a polyethylene-covered tunnel, shade netting that cuts light transmission by 50 %, and in the open. We measured air temperature (°C), emergence percentage (E%), leaf area (LA) per plant and dry weight biomass (DWB) per plant at 10, 18, 24, 31 and 35 days after planting (dap) in statice seedlings, and at 21, 28, 35, 43 and 52 dap in viola seedlings. In addition, the absolute growth rate (AGR), the relative growth rate (RGR) and the net assimilation rate (NAR) were calculated. Compared to the outdoor treatment (control), The polyethylene tunnel and shade netting produced higher E% values: 95 and 93 % for statice and 97 and 95 % for viola, respectively. Two different sigmoid curves of dry matter accumulation were observed in both species. The polythene tunnel produced higher DWB than the other conditions ($P \leq 0.05$) with an average temperature of 19.5 °C and high thermal oscillation, but without frost. In the polyethylene tunnel, maximum DWB, LA and AGR (88 mg-seedling⁻¹, 15.1 cm²-seedling⁻¹, and 7.4 mg·d⁻¹, respectively) were observed at 35 dap in statice and 52 dap in viola (43.6 mg-seedling⁻¹, 7.6 cm²-seedling⁻¹ and 2.4 mg·d⁻¹, respectively) before transplanting. The polythene cover prevented temperatures below 0 °C, which explains the greater seedling growth in this environment.

ADDITIONAL KEY WORDS: Seedling emergence, air temperature, absolute and relative growth rate.

INTRODUCCIÓN

Las especies ornamentales registran altos niveles de producción por hectárea y representan una derrama económica significativa debido a la infraestructura, insumos y mano de obra que necesitan para su cultivo (Flores-Amaraz y Lagunes-Tejeda, 1998). Dos de estas especies cultivadas son el estátice (*Limonium* spp.), ofrecido en el mercado deshidratado en arreglos florales, con 80 ha cosechadas y un valor de la producción de 27 millones de pesos, y la viola o pensamiento (*Viola* spp.), con 180 mil macetas producidas con un valor de la producción de 1.1 millones de pesos en el 2008 (Anónimo, 2010). El estátice es originario del Mediterráneo (Larson, 1992), mientras que la viola es encontrada en forma silvestre en zonas montañosas de la frontera de España y Francia (Kelly *et al.*, 2006), por lo que ambas son tolerantes a temperaturas bajas. Estátice requiere de 10 a 13 °C de temperatura media para florecer más rápido, y viola tolera bien el frío y se recomienda cultivarla con 13 a 18 °C de temperatura media (Anónimo, 2005), por lo que son opciones viables de cultivo en condiciones invernales en el Valle de México, donde se tienen temperaturas promedio de entre 12 y 18 °C (García, 1981).

Las especies ornamentales en México se cultivan bajo alguna de las siguientes modalidades: intemperie, invernadero o malla-sombra, condiciones en las que se producen cambios en temperatura del aire y planta, humedad relativa y nivel de radiación que afectan el rendimiento, calidad del producto y tiempo de producción. En la producción de plántulas, es deseable el cultivo bajo un ambiente microclimático que favorezca su producción rápida, con la obtención de plantas sanas y vigorosas, lo que es importante económicamente en un proceso de producción intensivo (Ayala-Sierra y Valdez-Aguilar, 2008). Para investigar el efecto ambiental en el crecimiento y desarrollo, se tiene la herramienta del análisis de crecimiento vegetal, que permite entender la naturaleza de la interacción planta-ambiente (Hunt *et al.*, 2002; Mora-Aguilar *et al.*, 2005). Esta técnica de análisis calcula índices de eficiencia de producción de biomasa, como son la tasa relativa de crecimiento (TRC), la tasa absoluta de crecimiento (TAC) y la tasa de asimilación neta (TAN), entre otras (van der Werf, 1996).

La producción de plántulas de ornato puede ser redituable (Moran, 2004), pero en México aún es incipiente; las variedades y recomendaciones técnicas de manejo provienen del extranjero. Sin embargo, las condiciones de producción son diferentes a las recomendadas en los catálogos de las empresas semilleras; aquí la infraestructura es diferente, y se desconocen las técnicas apropiadas para producir dichas plántulas (Ayala-Sierra y Valdez-Aguilar, 2008). El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto del ambiente de producción en túnel de plástico, malla-sombra o intemperie, en el crecimiento de plántulas de estátice y viola en el Valle de México durante el invierno.

INTRODUCTION

Ornamental species record high levels of production per hectare and account for a significant economic spillover effect due to the infrastructure, inputs and labor needed for their cultivation (Flores-Amaraz and Lagunes-Tejeda, 1998). Two of these cultivated species are the statice (*Limonium* spp.), offered on the market in dried floral arrangements, with 80 ha harvested and a production value of 27 million pesos, and the viola (*Viola* spp.), with 180,000 flower pots produced with a production value of 1.1 million pesos in 2008 (Anonymous, 2010). Statice is native of the Mediterranean (Larson, 1992), while the viola is found in the wild in the mountains between Spain and France (Kelly *et al.*, 2006), so both species are tolerant to low temperatures. Statice requires a mean temperature of 10-13 °C to bloom faster, while viola tolerates cold and should be grown at a mean temperature of 13-18 °C (Anonymous, 2005), so they are both viable crop options for winter conditions in the Valley of Mexico, where average temperatures are between 12 and 18 °C (García, 1981).

Ornamental species are grown in Mexico outdoors, in greenhouses or under a shade netting, conditions that change air and ground temperature, relative humidity and solar radiation levels, and these microclimatic variables affect yield, quality and production time.

In seedling production, a microclimatic that fosters rapid crop production and produces healthy and vigorous plants is required, which is economically important in an intensive production process (Ayala-Sierra and Valdez-Aguilar, 2008). This effect of the environment on the growth and development can be investigated using plant growth analysis (Hunt *et al.* 2002; Mora-Aguilar *et al.*, 2005). This analysis technique calculates indexes of biomass production efficiency, such as relative growth rate (RGR), absolute growth rate (AGR) and net assimilation rate (NAR), among others (Van der Werf, 1996).

Ornamental seedling production can be profitable (Moran, 2004), but in Mexico it is still incipient; varieties and recommended management techniques are developed overseas. However, production conditions in Mexico are different from those suggested in the catalogs from the seed companies, the infrastructure is less developed, and the techniques for producing seedlings in such conditions are unknown (Ayala-Sierra and Valdez-Aguilar, 2008). The aim of this research was to study the effect of polythene tunnel, shade netting and outdoor conditions on the growth of statice and viola seedlings in the Valley of Mexico during the winter.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 51' O y 2,250 m de altitud). Se utilizó semilla de estática (*Limonium sinuatum*) cv. Fortress y *Viola cornuta* cv. Sorbet de la compañía Ball Horticultural Company, Estados Unidos de América. Las semillas fueron sembradas el 6 de febrero de 2009, en charolas de 200 cavidades rellenas con turba (Premier PRO-MIX® PGX, Canadá); cada charola se dividió en tres secciones, para obtener tres repeticiones por especie. Se colocó una charola de cada especie en tres ambientes: microtúnel de polietileno blanco lechoso 30 % de sombreo (1.5 m de ancho x 3 m de largo), microtúnel de malla-sombra 50 % de sombreo (1.5 m de ancho x 3 m de largo) y a la intemperie (testigo).

En cada tratamiento se colocó un data logger (HOBO H8-032-08, Onset Computer Corporation, Estados Unidos de América) para registrar la temperatura del aire (°C) cada 30 min. La irradiancia fotosintética incidente (tratamiento a la intemperie o testigo) fue calculada como el 50 % de la radiación global (Brown, 2010) medida en la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, en Montecillo, Estado de México, a 200 m del sitio experimental. La irradiancia fotosintética en el microtúnel de polietileno y de malla-sombra fue de 30 y 50 % de la irradiancia fotosintética incidente en el testigo, respectivamente, debido a las especificaciones de transmisividad de los materiales usados.

Se determinó el porcentaje de emergencia (E %) de plántulas sobre el sustrato de germinación a los 18 y 28 días después de la siembra (dds) para estática y viola, respectivamente.

Para evaluar el crecimiento, se hicieron cinco muestreos de cinco plantas seleccionadas al azar por repetición, a los 10, 18, 24, 31 y 35 dds para estática, y a los 21, 28, 35, 43 y 52 dds para viola. Las plántulas se separaron en hojas y tallos, se secaron en una estufa con aire forzado (modelo 31480, Thelco, Estados Unidos de América) a 70 °C hasta alcanzar peso constante, y posteriormente se registró la biomasa seca total (PS) con una balanza Ohaus (Pine Brook, China). Antes de secar las plántulas, se estimó el área foliar (AF) por planta. Para esto, primero se digitalizaron las imágenes de las hojas por planta con un escáner (HP PSC 1210. HP Company, Estados Unidos de América), y se calculó la superficie relativa cubierta de píxeles (unidades que componen una imagen) verdes de cada imagen con un programa en Microsoft Visual Basic® ver. 6.0 basado en el método propuesto por Otha *et al.* (1980). Con base en una superficie de referencia conocida (1 cm²), se calculó el área foliar por planta (AF).

Con la biomasa seca promedio y el área foliar promedio por planta, se calcularon los siguientes índices de eficiencia fisiológica (Hunt, 1990): tasa absoluta promedio de crecimiento (TAC), tasa relativa promedio de crecimiento (TRC) y tasa promedio de asimilación neta (TAN), con las fórmulas siguientes:

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in Texcoco, State of Mexico (19° 29' N, 98° 51' W and 2,250 m altitude). Seeds of *Statisce* (*Limonium sinuatum*) cv. Fortress and *Viola cornuta* cv. Sorbet from the Ball Horticultural Company, USA were sown on February 6, 2009, in trays with 200 cavities filled with a peat moss mixture (Premier PRO-MIX® PGX, Canada); each tray was divided into three sections to obtain three replicates per species. One tray of each species was placed in the following environments: a milky-white polyethylene microtunnel with 30 % shade (1.5 m wide x 3 m long), a shade-netting microtunnel with 50% shade (1.5 m wide x 3 m long) and in the open (control).

A data logger (HOBO H8-032-08, Onset Computer Corporation, USA) was placed in each treatment to record air temperature (°C) every 30 min. The photosynthetic incident irradiance (outside or control treatment) was calculated as the 50 % of the overall solar radiation (Brown, 2010) measured at the meteorological station in Montecillo, State of Mexico, 200 m from the experimental site. Photosynthetic irradiance in the polyethylene and shade netting microtunnel was 30 and 50 % of the control because of their intrinsic transmissivity properties.

The emergence percentage (E %) of seedlings was determined at 18 and 28 days after planting (dap) for *statisce* and *viola*, respectively.

Samples of five plants per replicate were randomly selected 10, 18, 24, 31 and 35 dap for *statisce*, and 21, 28, 35, 43 and 52 dap for *viola*. Leaves and stems were detached in each seedling, dried in a forced-air oven (model 31480, Thelco, USA) at 70 °C until constant weight, and dry weight biomass (DWB) was measured with an Ohaus scale (Pine Brook, China). Before drying the organs of the seedlings, leaf area (LA) per plant was estimated. First, the leaf images of each plant were digitized with a scanner (HP PSC 1210. HP Company, USA). Afterwards, the relative area of each image covered by green pixels (units that make up an image) was calculated with a program in Microsoft Visual Basic® ver. 6.0 based on the segmentation method proposed by Otha *et al.* (1980). Finally, leaf area per plant was calculated using the relative area covered by leaves in each image and a known reference area (1 cm²).

With the average dry weight biomass and average leaf area per plant, the following indices of physiological efficiency (Hunt, 1990) were calculated: average absolute growth rate (AGR), average relative growth rate (RGR) and average net assimilation rate (NAR), with the following equations:

$$TAC = \frac{PS_2 - PS_1}{t_2 - t_1}$$

$$TRC = \frac{\ln(PS_2) - \ln(PS_1)}{t_2 - t_1}$$

$$TAN = \frac{PS_2 - PS_1}{AF_2 - AF_1} \times \frac{\ln(PS_2) - \ln(PS_1)}{t_2 - t_1}$$

$$AGR = \frac{DWB_2 - DWB_1}{t_2 - t_1}$$

$$RGR = \frac{\ln(DWB_2) - \ln(DWB_1)}{t_2 - t_1}$$

$$NAR = \frac{DWB_2 - DWB_1}{LA_2 - LA_1} \times \frac{\ln(DWB_2) - \ln(DWB_1)}{t_2 - t_1}$$

donde PS_2 y PS_1 : biomasa seca de la plántula al final y al inicio de un periodo determinado; t_1 y t_2 : tiempo transcurrido entre dos muestreos; AF_2 y AF_1 : área foliar por plántula al final y al inicio del mismo periodo y $\ln$: logaritmo natural.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones de cinco plantas (unidad experimental), donde las comparaciones fueron entre tratamientos para la misma especie.

La captura de datos y las curvas de crecimiento se hicieron en una hoja de cálculo. El análisis de varianza de E %, PS y AF se hizo con el programa Statistical Analysis System versión 8.2e (SAS Institute, 2003). Para las variables que mostraron efecto de tratamiento se hizo la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables climáticas en los ambientes de producción

Durante el periodo experimental, las temperaturas del aire promedio en los tratamientos de túnel de polietileno e intemperie resultaron similares (Cuadro 1), existiendo sólo 0.4 °C de diferencia entre ellos. En cambio, en la condición del túnel de malla-sombra, la temperatura promedio del aire fue 3.5 °C menor que los otros tratamientos. El intervalo diario de la temperatura del aire (diferencia entre las temperaturas máxima promedio y mínima promedio) fue menor en el túnel de malla-sombra (27.1 °C) que bajo el túnel de polietileno (35.6 °C) o a la intemperie (29.3 °C). La temperatura mínima promedio del aire (T_{min}) más baja fue registrada a la intemperie (2.6 °C). Tanto en el

where DWB_2 and DWB_1 : dry weight biomass of the seedling at the end and at the beginning of a given period; t_1 and t_2 : time between two samplings; LA_2 and LA_1 : leaf area per seedling at the end and at the beginning of the same period and $\ln$: natural logarithm.

The experiment was set up as a completely randomized design with three treatments and three replications of five plants (experimental unit), where comparisons were between treatments of each species.

Data capture and growth curves were made in a spreadsheet. Analysis of variance of E %, DWB and LA was performed with the Statistical Analysis System software, version 8.2e (SAS Institute, 2003). Variables that showed treatment effect, were analysed with the Tukey's means comparison test ($P \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Climatic variables in the production environments

Average air temperatures in the polyethylene tunnel and outdoor treatments were similar (Table 1), with only 0.4 °C difference between them. By contrast, in the shade-netting tunnel, the average air temperature was 3.5 °C lower than in the other treatments. The daily air temperature interval (difference between the average maximum and minimum temperatures) was lower in the shade-netting tunnel (27.1 °C) than under the polyethylene tunnel (35.6 °C) or in the open (29.3 °C). The lowest average minimum air temperature (T_{min}) was recorded in the open (2.6 °C). Frost occurred in the open on eight days and in the

CUADRO 1. Temperatura media, máxima promedio y mínima promedio en tres ambientes de producción de plántulas de estática y viola. Promedios del periodo experimental (6 de febrero al 30 de marzo de 2009).

TABLE 1. Average temperature, average maximum and average minimum in three environments used for static and viola seedling production. Averages of the experimental period (February 6 to March 30, 2009)

Tratamiento	Media	Temperatura (°C)		Núm. de días con temperatura ≤ 0 °C
		Máxima promedio	Mínima promedio	
Intemperie	19.1 $\pm$ 4.3	31.9 $\pm$ 4.1	2.6 $\pm$ 3.5	8
Malla-sombra	15.8 $\pm$ 4.8	30.9 $\pm$ 2.5	3.8 $\pm$ 3.2	3
Polietileno	19.5 $\pm$ 3.2	41.6 $\pm$ 2.6	6.0 $\pm$ 2.0	0

tratamiento a la intemperie (testigo) como en el túnel con malla-sombra se registraron ocho y tres días con heladas, respectivamente. En el tratamiento de túnel con malla-sombra, las temperaturas por debajo de 0 °C se presentaron a los 18, 24 y 25 días después de la siembra (dds), mientras que a la intemperie se observaron durante todo el periodo experimental.

El promedio diurno de la irradiancia fotosintética incidente durante el periodo experimental en el túnel de malla-sombra fue de $7.8 \pm 0.94 \text{ MJ m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, en el de polietileno $5.6 \pm 0.67 \text{ MJ m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ y en el testigo de $11.2 \pm 1.3 \text{ MJ m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

Emergencia de plántulas

El porcentaje de emergencia de estática (E %) en túnel plástico (95 %), fue estadísticamente igual a lo observado bajo malla-sombra (93 %), y ambos superaron al obtenido a la intemperie (72 %) (Cuadro 2). En viola se observaron resultados similares de E % en los ambientes evaluados (97, 95 y 63 %, respectivamente), siendo la germinación a la intemperie inferior estadísticamente a los otros dos tratamientos. Las condiciones climáticas prevalecientes (Cuadro 1), específicamente la presencia de ocho d de heladas en el tratamiento de crecimiento a la intemperie y una temperatura del aire mínima promedio más baja (2.6 °C), provocaron una germinación estadísticamente inferior en ambas especies.

CUADRO 2. Porcentaje de emergencia de semillas de estática y de viola en tres ambientes contrastantes.

TABLE 2. Emergence percentage of static and viola seeds in three contrasting environments.

Tratamiento	Estática	Viola
Intemperie	72.1b	62.5b
Malla sombra	92.6a	95.3a
Polietileno	95.5a	96.7a
DMS	11.0	9.4
CV (%)	6.6	7.5
Promedio	86.7	84.8

DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación. Medias con letras iguales no son diferentes (Tukey, 0.05).

DMS = Least significant difference; CV = coefficient of variation. Means with same letters are not different (Tukey, 0.05).

Dinámica del crecimiento

La dinámica de acumulación de biomasa de la planta de estática fue de tipo sigmoidal en los tres tratamientos estudiados (Figura 1A). Esta dinámica de crecimiento es típica de órganos e individuos vegetales (Sedano *et al.*, 2005; Taiz y Zeiger, 2006). La fase de crecimiento lenta fue desde la siembra hasta los 24 dds. De acuerdo a las diferencias estadísticas, a partir de los 18 dds se observaron dos patrones de crecimiento: las plántulas cultivadas en el túnel de polietileno tuvieron mayor materia seca que bajo las otras condiciones de cultivo (Figura 1A).

shade-netting tunnel on five. In the shade-netting tunnel, temperatures below 0 °C occurred at 18, 24 and 25 days after planting (dap), whereas they were recorded in the open throughout the experimental period.

During the experimental period, the average daytime photosynthetic incident irradiance was $7.8 \pm 0.94 \text{ MJ m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ in the shade-netting tunnel, $5.6 \pm 0.67 \text{ MJ m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ in the polyethylene tunnel and $11.2 \pm 1.3 \text{ MJ m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ in the control.

Seedling emergence

The static emergence percentage (E %) in the plastic tunnel (95 %) was statistically similar to that observed under the shade netting (93 %), and both exceeded that obtained in the open (72 %) (Table2). Similar E % results were observed for viola in the environments evaluated (97, 95 and 63 %, respectively), with statistically lower germination in the open than in the other two treatments. The prevailing climatic conditions (Table 1), specifically the occurrence of eight d of frost in the outdoor growth treatment and a lower average minimum air temperature (2.6 °C), caused a statistically lower germination in both species.

Growth dynamics

In the three treatments studied, the dynamics of biomass accumulation in the static plant was sigmoidal (Fig. 1A). This growth dynamic is typical of plant organs and individuals (Sedano *et al.*, 2005; Taiz and Zeiger, 2006). The slow growth phase was from planting until 24 dap. According to the statistical differences, there were two growth patterns starting at 18 dap. Seedlings grown in the polythene tunnel had greater dry weight biomass than those grown in the other environments (Figure 1A). After 24 dap, a phase of logarithmic dry biomass accumulation was observed in the three treatments, and from 31 dap a stationary seedling growth phase was apparent in the shade-netting tunnel and the control, whereas rapid growth continued under the polythene tunnel (Figure 1A). At 35 dap, seedlings in this treatment had attained the recommended features to be transplanted (Anonymous, 2005), but the seedlings in the other two treatments did not reach the recommended size during the experimental period.

Seedlings emergence in viola was slower than in static. As in static, two growth trends were observed from 28 dap, but less pronounced (Figure 1B). From 35 to 43 dap, seedlings in the plastic and shade-netting tunnels, respectively, started their exponential growth, which led to the seedlings in the first treatment reaching the recommended size for transplanting (Anonymous, 2005) at 52 dap; seedlings in the shade-netting tunnel and in the open never reached the recommended size during the experimental period. The growth kinetics of the seedlings of the control (outdoor) remained in the initial phase of a sigmoid curve without ever reaching the exponential growth phase (Figure 1B).

The growth kinetics of leaf area (LA) per plant in both

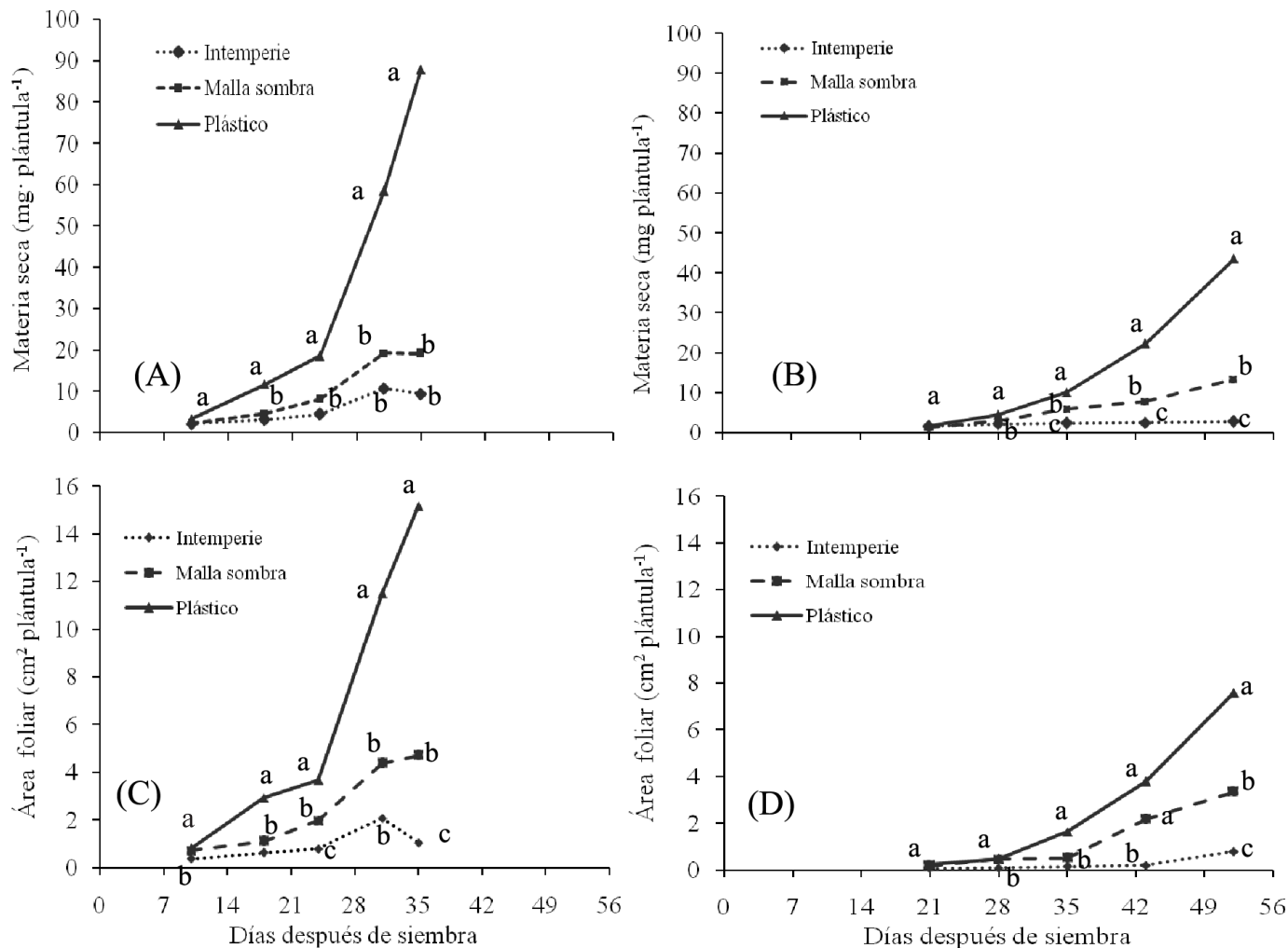


FIGURA 1. Dinámica de acumulación de biomasa seca y área foliar de plántulas de estática (A, C) y viola (B, D) bajo tres condiciones ambientales contrastantes. Medias de tratamientos con la misma letra en un mismo muestreo, son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

FIGURE 1. Dynamics of dry biomass accumulation and leaf area of static (A, C) and viola (B, D) seedlings under three contrasting environmental conditions. Treatment means with the same letter in the same sampling are equal (Tukey, $P \leq 0.05$).

Después de 24 dds se observó una fase de acumulación logarítmica de la biomasa seca en los tres tratamientos, y a partir de 31 dds fue evidente una fase estacionaria del crecimiento de las plántulas bajo el túnel de malla-sombra y el testigo; en cambio, el crecimiento rápido continuó bajo el túnel de polietileno (Figura 1A). A los 35 dds, las plántulas de este tratamiento habían alcanzado las características recomendadas para ser trasplantadas (Anónimo, 2005), pero las plántulas de los otros dos tratamientos no alcanzaron el tamaño recomendado durante el periodo de experimentación.

El proceso de emergencia de las plántulas de viola, fue más lento; se observaron dos tendencias de crecimiento, como en estática, pero menos evidentes, desde los 28 dds (Figura 1B). A partir de 35 y 43 dds, las plántulas en los túneles de plástico y de malla-sombra, respectivamente, iniciaron su crecimiento exponencial, lo que llevó a las plántulas del primer tratamiento a alcanzar el tamaño recomendado para el trasplante (Anónimo, 2005) a los 52 dds; las plántulas del túnel de malla-sombra y a la intemperie tampoco alcanzaron el tamaño recomendado

species was similar to that of dry biomass (Figures 1C and D). That is, the polyethylene tunnel produced plants with larger leaf area or photosynthetic capacity to supply photoassimilates to roots and allow plants a rapid growth after transplanting (Larson, 1992). In the open, the leaf area of static seedlings decreased at 45 dap due to premature leaf senescence.

In the polyethylene tunnel, the static seedlings reached the transplanting stage 35 dap with 88 mg-seedling⁻¹ of dry biomass and 15.1 cm²-seedling⁻¹ leaf area; that was twice the size and weight of the viola seedlings at 52 dap, when they had 43.6 mg-seedling⁻¹ of dry weight and 7.6 cm²-seedling⁻¹ of LA; thus, it shows a faster growth of static seedlings.

In both outdoor and shade-netting treatments, lower dry weight biomass accumulation was recorded in both species (Figure 1A and 1B), possible caused by first incidence and lower average minimum temperatures (Table 1). In addition, the occurrence of frost throughout the experimental period in the outdoor treatment may also explain the LA reduction in

durante el periodo de experimentación. La cinética de crecimiento de las plántulas del testigo (intemperie) se mantuvo en la fase inicial de una curva sigmoide sin alcanzar la fase de crecimiento exponencial (Figura 1B).

La cinética de crecimiento del área foliar por planta (AF) en ambas especies fue similar al comportamiento de biomasa seca (Figuras 1C y D). Esto es, que en el túnel de polietileno se produjeron las plantas con mayor área foliar o capacidad fotosintética para abastecer de fotoasimilados a las raíces y permitir un crecimiento rápido después del trasplante (Larson, 1992). A la intemperie, la superficie foliar de las plántulas de estátice disminuyó a los 35 dds debido a la senescencia prematura de hojas.

En el túnel de polietileno, la plántula de estátice podría trasplantarse a los 35 dds con biomasa seca de 88 mg.plántula⁻¹ y 15.1 cm².plántula⁻¹ de área foliar, lo cual fue el doble del tamaño de las plántulas de viola a los 52 dds, cuando tenían un peso de 43.6 mg.plántula⁻¹ y AF de 7.6 cm².plántula⁻¹, lo que muestra una mayor velocidad de crecimiento de las plántulas de estátice.

Tanto en el tratamiento a la intemperie como bajo malla-sombra se registraron menores acumulaciones de biomasa seca en ambas especies (Figura 1A y 1B), siendo en estos tratamientos donde se observaron ocho y tres días con heladas, respectivamente, así como las más bajas temperaturas mínimas promedio (Cuadro 1). Además, probablemente las heladas presentes a lo largo del periodo experimental en el tratamiento a la intemperie fueron la causa de la disminución de la AF en estátice a los 35 dds, pues es considerada una especie menos tolerante al frío que viola (Anónimo, 2005).

Índices de eficiencia fisiológica

La tasa absoluta de crecimiento (TAC) que se considera como una medida de la fuerza de la demanda fisiológica (Ho *et al.*, 1989) de estátice, presentó una fase de crecimiento lenta al principio, y fue hasta los 24 dds cuando se inició una fase de crecimiento rápido (Figura 2). Las plántulas en intemperie y en el túnel con malla-sombra alcanzaron una TAC máxima de 0.9 y 1.6 mg·d⁻¹ a los 31 dds, pero tuvieron TAC cero a los 35 dds, cuando se detuvo el crecimiento con base en su contenido de biomasa (Figura 2A), mientras que las plántulas en el túnel de plástico alcanzaron 7.4 mg·d⁻¹.

Los valores de TAC de las plántulas de viola creciendo en el túnel de polietileno, tuvieron una fase de crecimiento mayor a partir de los 35 dds (Figura 2B); en ese muestreo el valor alcanzado fue de 0.81 mg·d⁻¹, mientras que a los 52 dds la TAC fue 2.4 mg·d⁻¹; superando los valores de TAC de los otros tratamientos, que no alcanzaron en ningún periodo valores superiores a 0.5 mg·d⁻¹.

Los máximos valores de TAC de ambas especies se observaron en las plántulas creciendo dentro del túnel con cubierta de polietileno; muy probablemente esto se debió a la ausencia total de temperaturas por debajo de 0 °C y una

státice at 35 dap, as it is regarded as a lesser cold-tolerant species than viola (Anonymous, 2005).

Physiological efficiency indexes

The absolute growth rate (AGR), which is considered a measure of the strength of physiological demand (Ho *et al.*, 1989), initially presented a slow growth phase in static but, 24 dap began a rapid growth phase (Figure 2). Seedlings in the open and in the shade-netting tunnel reached a maximum AGR of 0.9 and 1.6 mg·d⁻¹ at 31 dap, but after 35 dap, AGR became equal to zero when growth stopped (Figure 2A). However, at this stage, the seedlings in the plastic tunnel reached 7.4 mg·d⁻¹.

AGR of viola seedlings in the polyethylene tunnel increased growth from 35 dap (Figure 2B), with 0.81 mg·d⁻¹ and 2.4 mg·d⁻¹ at 52 dap. This treatment produced higher AGR than the other treatments, which none of them reached values above 0.5 mg·d⁻¹ in any period.

The maximum AGR values of both species were observed in seedlings growing in the polyethylene-covered tunnel, probably due to the absence of temperatures below 0 °C and a higher average minimum temperature than in the other treatments (Table 1).

Relative growth rate (RGR), regarded as the activity of physiological demand or the rate at which carbon accumulates in the seedling (Ho *et al.*, 1989), increased in static grown under shade netting and in the open at 31 dap, but at 35 dap, RGR became negative. On the other hand, there was not a clear trend in the polyethylene tunnel, although it reached the maximum RGR value at 31 dap (Figure 2C).

The highest RGR value in viola occurred 28 dap in the three treatments studied (Figure 2D) and thereafter decreased. The seedlings in the plastic tunnel reached the largest RGR of the treatment (0.14 mg·mg⁻¹·d⁻¹), and it steadily decreased until reaching 0.7 mg·mg⁻¹·d⁻¹ at 52 dap. In the other two treatments, minimal RGR were reached 43 dap, but it increased in the following sampling.

According to Faust *et al.* (2005) and Adams *et al.* (1997), RGR decreases chronologically, but increases linearly with photosynthetic incident irradiance and temperature. This variable is initially high but it declines rapidly, causing growth stops at a relatively early stage. However, at lower temperatures, RGR is initially low but declines slower than at higher temperatures, allowing plants to grow and accumulate biomass for a longer period as we observed in viola (Figure 2D). This suggest that it may be an option to change strategically the seedlings to different environments, according to their growth stage.

Net assimilation rate (NAR), an estimator of photosynthetic activity (Ho *et al.*, 1989), was higher in static seedlings of static grown in the plastic tunnel than in the other treatments (Figure 2E). In all treatments, the

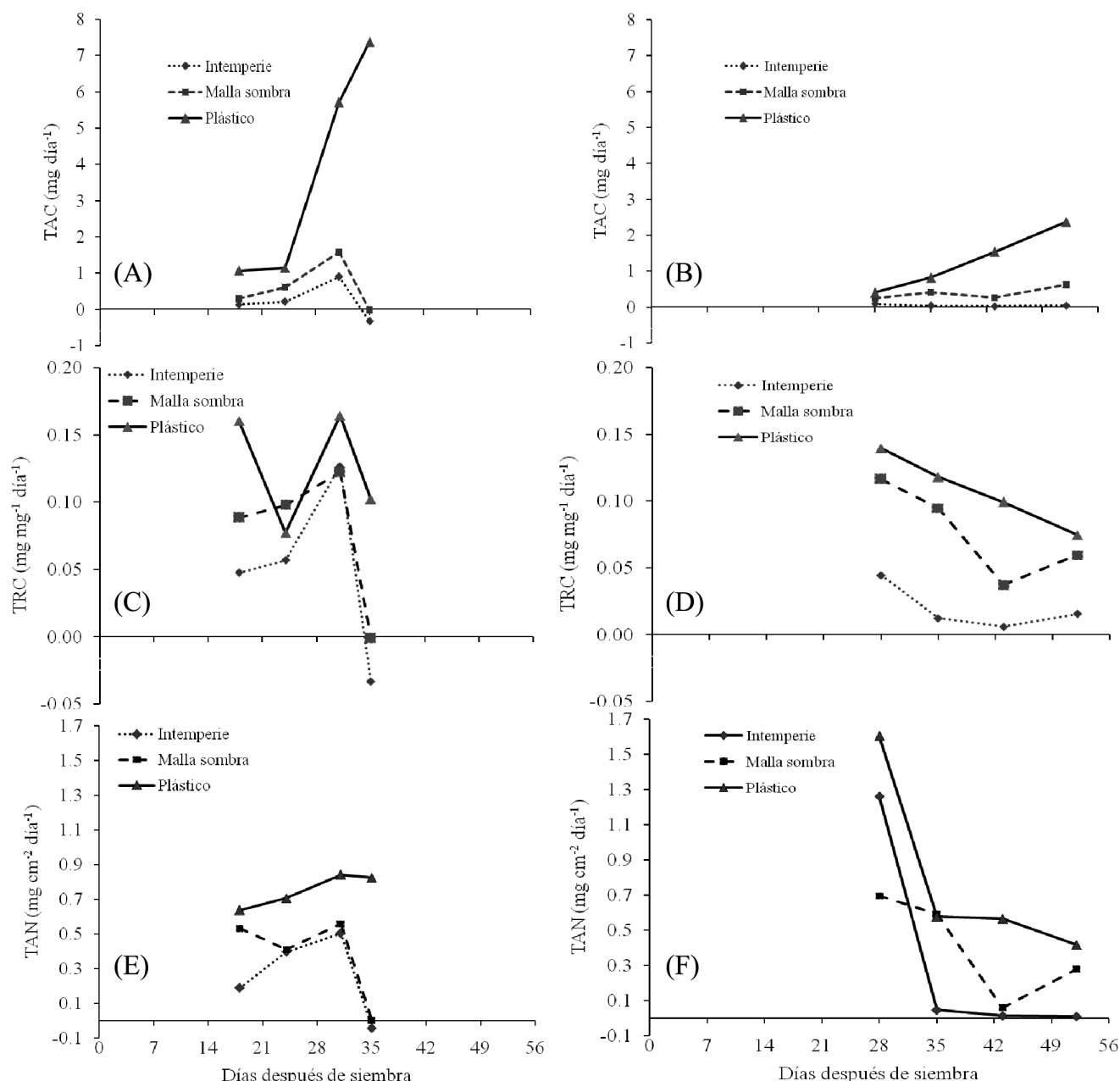


FIGURA 2. Tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa relativa de crecimiento (TRC) y tasa de asimilación neta (TAN) de plántulas de estático (Figuras A, C y E) y viola (Figuras B, D y F) bajo tres condiciones ambientales contrastantes.

FIGURE 2. Absolute growth rate (TAC, the Spanish acronym for this rate, is used in the figure), relative growth rate (TRC) and net assimilation rate (TAN) of static (Figures A, C and E) and viola (Figures B, D and F) seedlings under three contrasting environmental conditions.

temperatura mínima promedio más alta que en los otros tratamientos (Cuadro 1).

La tasa relativa de crecimiento (TRC), considerada como la actividad de la demanda fisiológica o velocidad con la que se acumula carbono en la plántula (Ho *et al.*, 1989), aumentó en estático hasta los 31 dds bajo malla-sombra y a la intemperie, pero a los 35 dds ésta fue negativa; en túnel de polietileno no hubo una tendencia clara, aunque alcanzó el máximo valor de TRC a los 31 dds (Figura 2C).

En las plántulas de viola, de los tres tratamientos estudiados, los valores de TRC alcanzaron sus valores

highest NAR was at 31 dap but decreased 35 dap. The NAR of the seedlings outdoors and under shade-netting declined rapidly as a result of a decrease in leaf area (Figure 1C) which may be resulted of temperatures below 0 °C (Table 1).

The highest NAR in viola (Figure 2F) was 28 dap in all treatments, and afterwards it declined. NAR of the seedlings under the plastic-covered tunnel and the shade netting (1.6 and 1.3 mg·cm⁻²·day⁻¹, respectively) was higher than the maximum NAR in static, observed 31 dap in the plastic-covered tunnel condition (0.8 mg·cm⁻²·day⁻¹). NAR in viola was never negative, which may be related to its cold

máximos a los 28 dds (Figura 2D), disminuyendo a lo largo del periodo de medición. La máxima TRC registrada se observó en las plantas del túnel plástico ($0.14 \text{ mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$), disminuyendo de manera constante hasta alcanzar los 52 dds $0.7 \text{ mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. En los otros dos tratamientos, los valores mínimos se alcanzaron a los 43 dds, aumentando al siguiente muestreo.

De acuerdo con Faust *et al.* (2005) y Adams *et al.* (1997), la TRC disminuye cronológicamente, pero aumenta linealmente al aumentar la irradiancia fotosintética incidente; y con altas temperaturas, esta variable es inicialmente alta hasta un límite en el que declina rápidamente, causando el cese del crecimiento en una etapa relativamente temprana; mientras que a más bajas temperaturas, esta TRC es baja inicialmente, declinando más lentamente conforme el cultivo se desarrolla que a altas temperaturas, lo que permite que las plantas crezcan durante un periodo mayor con la acumulación de más biomasa, similar a lo observado principalmente en viola (Figura 2D). Esto permite contemplar la opción de cambiar estratégicamente las plántulas en ambientes diferentes, dependiendo de su etapa de crecimiento.

La tasa de asimilación neta (TAN), como estimador de la actividad fotosintética (Ho *et al.*, 1989), fue más alta en plántulas de estática en el túnel plástico que en los otros tratamientos (Figura 2E). En los tres tratamientos, la TAN fue máxima a los 31 dds y mostró una disminución a los 35 dds. En esta fase, la TAN de los tratamientos a la intemperie y túnel de malla-sombra disminuyeron rápidamente, como consecuencia de una disminución del área foliar (Figura 1C), provocada a su vez por la presencia de temperaturas por debajo de 0°C (Cuadro 1).

En viola (Figura 2F), la TAN fue máxima a los 28 dds en todos los tratamientos; posteriormente hubo una disminución. En esa edad de la plántula, la TAN de las plántulas bajo el túnel con cubierta plástica y malla-sombra (1.6 y $1.3 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$, respectivamente) fue superior a la máxima TAN encontrada en estática durante la fase experimental, la cual se observó a los 31 dds en la condición de túnel con cubierta plástica ($0.8 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$). Los valores de TAN de viola nunca fueron negativos, lo que puede estar relacionado con su mayor tolerancia al frío.

De acuerdo con Van der Werf (1996), los principales parámetros del análisis del crecimiento vegetal pueden ser usados para entender las relaciones entre la fuente de fotosintatos y la demanda fisiológica. Durante la fase inicial del desarrollo y hasta antes de la floración, la fuerza de la demanda la constituye el crecimiento de hojas, tallos y raíces.

Determinación del crecimiento vegetal

En esta investigación, fue posible hacer germinar y producir plántulas de estática y viola en condiciones invernales. El ambiente menos favorable fue a la intemperie, en donde se observaron temperaturas mínimas más bajas

tolerance.

According to Van der Werf (1996), the parameters of the plant growth analysis can be used to understand the source-sink relationships. The largest sink in plants from the initial plant development to the flowering stage is from leaves, stems and roots.

Determination of plant growth

In this investigation, it was possible to germinate and produce static and viola seedlings under winter conditions. The least favorable environment was in the open, where the lowest average temperature was recorded and the largest number of frosts occurred (Table 1), causing irreversible damage to the photosynthetic apparatus and premature leaf senescence of static; seedling growth was low, with negative RGR and NAR at the end of the experiment. In viola, both RGR and NAR were close to zero. According to literature, this species has a base temperature of 4.1°C and is considered a cold-tolerant species (Blanchard and Runkle, 2011), so the reduction in growth was possibly caused by other factors such as water stress or high irradiances. Static has a higher growth rate, but it is also more sensitive to chilling and freezing temperatures than viola.

The most favorable environment was under the plastic cover, which yielded the largest dry weight biomass, leaf area, RGR, NAR and AGR in both species (Figures 1 and 2). Under this environment, average air temperature was 19.5°C (Table 1), which, considering the standard deviation, was similar to the air temperature measured in the open, and it was 3.7°C higher than in the shade-netting tunnel. Although there was a high thermal oscillation (35.6°C) between the average maximum and minimum temperatures (Table 1) and the maximum air temperature was 10°C higher under the polyethylene tunnel than in the other treatments – which was 6.5°C higher than that indicated by Taiz and Zeiger (2006) as the maximum optimum growth temperature for species from temperate climates such as the species studied –, temperatures below 0°C were not recorded, benefiting both species. It has been found that greater above-ground dry biomass is obtained in viola at 20°C (Adams *et al.*, 1997), similar to the average temperature in the open and under the plastic cover, while dry matter accumulation is slower at warmer or cooler temperatures. The optimum temperature estimated by Adams *et al.* (1997) for instantaneous RGR was 25.3°C and it remained constant over time. However, these authors note that maximum accumulation of dry biomass occurs at high temperatures during early growth and at low temperatures during later growth, which implies decreased photosynthetic potential, an increased degree of self-shading or a decreased leaf area ratio with the biological age of the plant. In viola, Warner and Erwin (2006) found that dry biomass decreased by up to 54% (from 101 to $46 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$) in eight cultivars when the temperature increased

y mayor número de heladas (Cuadro 1) que provocaron daños irreversibles en el aparato fotosintético de las plantas de estática, además de observarse senescencia prematura de hojas; el crecimiento de plántulas fue bajo, y al final del periodo de evaluación se observaron TRC y TAN negativas. En viola, la TRC y la TAN fueron cercanas a cero. De acuerdo con la literatura, esta especie tiene una temperatura base de 4.1 °C y es considerada una especie tolerante al frío (Blanchard y Runkle, 2011), por lo que la reducción en el crecimiento fue provocada posiblemente por otros factores, como estrés hídrico o irradiancias altas. Es claro que mientras estática tiene una tasa de crecimiento mayor, al mismo tiempo es más sensible a las temperaturas bajas y de congelamiento que viola.

El ambiente más favorable fue bajo cubierta plástica, que permitió obtener la mayor biomasa seca, área foliar, TRC, TAN y TAC en ambas especies (Figuras 1 y 2). Bajo este ambiente, la temperatura promedio del aire fue 19.5 °C (Cuadro 1), la que, considerando la magnitud de la desviación estándar de los valores de esta condición, podría ser considerada similar a la temperatura del aire medida a la intemperie, siendo además superior en 3.7 °C al registro en el túnel de malla-sombra. A pesar de existir una alta oscilación térmica de 35.6 °C entre las temperaturas máxima promedio y mínima promedio (Cuadro 1) y a que la temperatura máxima del aire fue 10 °C mayor bajo el túnel de polietileno que en los otros tratamientos lo que fue superior en 6.5 °C a lo indicado por Taiz y Zeiger (2006) como temperatura máxima óptima de crecimiento para especies originarias de climas templados, como las especies estudiadas, no se registraron temperaturas menores a 0 °C, beneficiando a ambas especies. Se ha encontrado que la mayor biomasa seca de la parte aérea de viola se obtiene a 20 °C (Adams *et al.*, 1997), similar al promedio de temperatura a la intemperie y bajo cubierta plástica, mientras que la acumulación de materia seca es más lenta a temperaturas más calientes o más frías; la temperatura óptima estimada por Adams *et al.* (1997) para la TRC instantánea fue 25.3 °C y fue constante a través del tiempo. Sin embargo, estos autores señalan que la máxima acumulación de biomasa seca se presenta a altas temperaturas durante el crecimiento inicial y a bajas temperaturas durante el crecimiento posterior, lo cual implica la disminución del potencial fotosintético, un aumento del grado de autosombreo o la disminución de la relación de área foliar con la edad biológica de la planta. En viola Warner y Erwin (2006) encontraron disminución de biomasa seca hasta en 54 % (de 101 a 46 mg·d⁻¹) de ocho cultivares cuando la temperatura aumentó de 20 a 30 °C, mientras que la TRC disminuyó con el tiempo, más que por efecto de la temperatura.

Bajo malla-sombra, la temperatura media fue 15.8 °C (Cuadro 1), lo cual fue 4 °C inferior a la temperatura óptima sugerida por Adams *et al.* (1997) para viola, y en la presente investigación se observó que ambas especies tuvieron menores valores en las variables respuestas medidas. Esto

from 20 to 30 °C, while RGR decreased with time rather than by temperature effect.

Under shade netting, the average temperature was 15.8 °C (Table 1), which was 4 °C below the optimal temperature suggested by Adams *et al.* (1997) for viola, and in this investigation both species had lower values in the response variables measured. This implies that the relative advantages of shade netting, such as an increase in diffuse radiation, increased relative humidity and the scattering of ultraviolet radiation (Stamps, 2009), did not offset the decrease in average temperature. Also, this treatment had lower photosynthetic irradiance, which was 5.6 MJ·m⁻²·d⁻¹, although this level of photosynthetic irradiance is considered by Nemali and Van Iersel (2004) as a high value in species such as petunia and begonia, since they found that aboveground biomass was two to three times higher in plants grown at 5 MJ·m⁻²·d⁻¹ than at 2.1 MJ·m⁻²·d⁻¹. However, these plants grown in low-level radiation had an increased leaf area ratio, while those grown at high irradiances had the highest growth rates (Nemali and Van Iersel, 2004). In several studies, the effect of increased irradiance on increasing dry biomass in seedlings and cuttings is consistent (Faust *et al.* 2005; Lopez and Runkle, 2008). In our study, the best environment, the plastic cover with 30 % shade, allowed the entry of 7.8 MJ·m⁻²·d⁻¹ while the worst environment (control) allowed up to 11.2 MJ·m⁻²·d⁻¹ on average, which confirms that the limiting effect was the minimum temperature and the occurrence of temperatures below 0 °C, and that in this case there was no proportionate effect on increased biomass with increasing photosynthetic irradiance.

Under the conditions in which this study was conducted, photosynthetic irradiance was not a limiting factor for growth, because even in winter levels of this variable are reached that in high latitudes are considered high. However, the limitation is the frequent occurrence of winter frosts.

CONCLUSIONS

The environmental conditions created by the polyethylene-covered tunnel allowed a higher emergence percentage and greater growth of static and viola seedlings, which were ready for transplanting at 35 and 52 days after planting (dap), respectively. The greater growth of the species studied in the polyethylene-covered tunnel is attributable to the absence of temperatures at or below 0 °C.

End of the English Version

implica que las ventajas relativas de una malla-sombra, como son el aumento de la radiación difusa, aumento de la humedad relativa y la dispersión de la radiación ultravioleta (Stamps, 2009), no compensaron la disminución de la temperatura media. También la disminución de la irradiancia fotosintética, que integrada fue de $5.6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, aunque este nivel de irradiancia fotosintética lo consideran Nemali y Van Iersel (2004) como un valor alto en especies como petunia y begonia, ya que encontraron que la biomasa de la parte aérea fue dos a tres veces mayor en plantas que crecieron a $5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ que a $2.1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Sin embargo, estas plantas que crecieron en bajo nivel de radiación, aumentaron la relación de área foliar, aunque las que crecieron a altas irradiancias tuvieron las más altas tasas de crecimiento (Nemali y Van Iersel, 2004). En varias investigaciones es consistente el efecto del incremento de la irradiancia en el aumento de la biomasa seca de plántulas o estacas (Faust *et al.*, 2005; Lopez y Runkle, 2008). Esto hasta cierto límite, en nuestra investigación, el mejor ambiente, con cubierta plástica con 30 % de sombreo, permitió ingresar $7.8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ y el peor ambiente (testigo) hasta $11.2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ en promedio, lo cual confirma que el efecto limitante fue la temperatura mínima y la presencia de temperaturas menores a 0°C , y que en este caso no hubo un efecto proporcional en el incremento de biomasa conforme aumentó la irradiancia fotosintética.

En las condiciones en que se hizo el presente estudio, la irradiancia fotosintética no fue una limitante para el crecimiento, pues inclusive en invierno se alcanzan niveles de esta variable que en latitudes altas son consideradas como altas. Sin embargo, la limitación es, con frecuencia, la ocurrencia de heladas invernales.

CONCLUSIONES

Las condiciones ambientales generadas por el túnel con cubierta de polietileno, permitieron un mayor porcentaje de emergencia y mayor crecimiento de plántulas de estática y viola, con lo que se obtuvieron plántulas para el trasplante a los 35 y 52 días después de la siembra (dds), respectivamente. El mayor crecimiento de las especies estudiadas en el túnel cubierto con polietileno se atribuye a la ausencia de temperaturas iguales o inferiores a 0°C .

LITERATURA CITADA

- ADAMS, S. R.; PEARSON, S.; HADLEY, P. 1997. An analysis of the effects of temperature and light integral on the vegetative growth of pansy cv. Universal Violet (*Viola x wittrockiana* Gams.). *Annals of Botany* 79: 219-225.
- ANÓNIMO. 2005. Catalog of Ball Horticultural Company. Panamerican Seed Company, PanAmSeed.com. California, USA. 326 p.
- ANÓNIMO. 2010. Anuario del Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comdeanuadin.html. Consultado el 25 de julio de 2010.
- AYALA-SIERRA, A.; ZVALDEZ-AGUILAR, L. A. 2008. El polvo de coco como sustrato alternativo para la obtención de plantas ornamentales para trasplante. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 161-167.
- BLANCHARD, M. G.; RUNKLE, E. S. 2011. Quantifying the thermal flowering rates of eighteen species of annual bedding plants. *Scientia Horticulturae* 128: 30-37.
- BROWN, R. 2010. Design with Microclimate: The Secret to Comfortable Outdoor Space. Island Press. Washington D.C. USA. 192 p.
- FAUST, J. E.; HOLCOMBE, V.; RAJAPAKSE, N. C.; LAYNE, D. R. 2005. The effect of daily light integral on bedding plant growth and flowering. *HortScience* 40: 645-649.
- FLORES-ALMARAZ, F.; LAGUNES-TEJEDA, A. 1998. La Horticultura Ornamental en México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática-Colegio de Postgraduados. Aguascalientes, Ags. México. 88 p.
- GARCÍA, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. UNAM. México, D.F. 168 p.
- HO, L. C.; GRANGE, R. I.; SHAW, A. F. 1989. Source/sink regulation. In: Transport of Photoassimilates. p: 306-343. BAKER, D.; MILLBURN, J. A. (eds.). Longman Scientific and Technical. Essex, U.K.
- HUNT, R. 1990. Basic Growth Analysis. Unwing Hyman. London, U. K. 112 p.
- HUNT, R.; CAUSTON, D. R.; SHIPLEY, B.; ASKEW, A. P. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany* 90: 485-488.
- KELLY, R. O.; DENG, Z.; HARBAUGH, B. K. 2006. Evaluation of viola cultivars as bedding plants and establishment of the best-of-class. *HortTechnology* 16: 167-171.
- LARSON, R. A. 1992. Introduction to Floriculture. 2nd Edition. Academic Press, Inc. San Diego, California, USA. 407 p.
- LÓPEZ, R. G.; RUNKLE, E. S. 2008. Photosynthetic daily light integral during propagation influences rooting and growth of cuttings and subsequent development of New Guinea impatiens and petunia. *HortScience* 43: 2052-2059.
- MORA-AGUILAR, R.; ORTÍZ-CERECERES J.; MENDOZA-CASTILLO M. C.; RIVERA-PÉÑA A.; LOZOYA-SALDAÑA H.; COLINAS-LEÓN M. T. 2005. Cinética de la acumulación y distribución de biomasa en genotipos de papa establecidos en condiciones de secano. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 135-142.
- MORÁN, M. F. 2004. Producción de Plantas Ornamentales en Maceta en Invernadero. Centro de Agronegocios Tezoyuca. FIRA Banco de Tezoyuca, Morelos. 55 p.
- NEMALI, K. S.; VAN IERSEL, W. 2004. Light intensity and fertilizer concentration: II. Optimal fertilizer solution concentration for species differing in light requirement and growth rate. *HortScience* 39: 1293-1297.
- OTHA, Y. I.; KANADE T.; SAKAI, T. 1980. Color information for region segmentation. *Computer Graphics and Image Processing* 13: 222-241.

- SAS INSTITUTE. 2003. The Analyst Application. 2nd ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 500 p.
- SEDANO-CASTRO, G.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, V. A.; ENGLEMAN, E. M.; VILLANUEVA-VERDUZCO C. 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia de la planta de calabacita. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 291-297.
- STAMPS, R. H. 2009. Use of colored shade netting in horticulture. *HortScience* 44: 239-241.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2006. Plant Physiology. 4a ed. Sinauer. Sunderland, Massachusetts, USA. 690 p.
- VAN DER WERF, A. 1996. Growth analysis and photoassimilate partitioning. *In: Photoassimilate Distribution in Plants and Crops*. p: 1-20. ZAMSKI, E.; SHAFFER, A. A. (eds.) Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- WARNER, R. M.; ERWIN, J. E. 2006. Prolonged high-temperature exposure differentially reduces growth and flowering of 12 *Viola x wittrockiana* Gams. cvs. *Scientia Horticulturae* 108: 295-302.