

CRECIMIENTO Y VITALIDAD DE *Populus alba* L. CON DESMOCHE Y TRATADO CON PACLOBUTRAZOL

Tomás Martínez-Trinidad*; Francisca Ofelia Plascencia-Escalante;
Víctor Manuel Cetina-Alcalá

Colegio de Postgraduados, Postgrado Forestal. km 36.5 Carretera México-Texcoco.
Montecillo, Estado de México, MÉXICO. C.P. 56230.
Correo-e: tomtz@colpos.mx (*Autor para correspondencia)

RESUMEN

El chopo blanco (*Populus alba* L.) es una especie arbórea utilizada con fines ornamentales en ambientes urbanos. Se evaluó el efecto de 0.4 y 0.8 g de paclobutrazol (PBZ) por planta sobre el crecimiento y vitalidad de árboles de chopo blanco que sufrieron poda severa. El diseño experimental fue completamente al azar con cinco repeticiones. La aplicación de PBZ afectó significativamente ($P \leq 0.05$) el crecimiento de tronco, hojas y la relación de azúcares totales/reductores, aunque el efecto se perdió en la siguiente etapa de crecimiento. La aplicación de PBZ no mejoró la vitalidad de la planta, ya que los valores de fluorescencia de la clorofila (Fv/Fm) se vieron disminuidos. Se sugiere realizar investigación adicional para una mejor comprensión del efecto de PBZ en árboles de chopo blanco.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Despunte de ramas, carbohidratos, regulador de crecimiento.

GROWTH AND VITALITY OF *Populus alba* L. WITH TOPPING AND TREATED WITH PACLOBUTRAZOL

ABSTRACT

White poplar (*Populus alba* L.) is an ornamental tree used in urban environments. We evaluated the effect of 0.4 and 0.8 g of paclobutrazol (PBZ) per plant on the growth and vitality of white poplar trees that were severely pruned. The experimental design was completely randomized with five replications. The application of PBZ significantly ($P \leq 0.05$) affected trunk growth, leaf growth and the total/reducing sugars ratio. However, the effect was lost in the next growth period. Thus, the overall effect is null in improving the vitality of this species, since the chlorophyll fluorescence values (Fv/Fm) were diminished after the treatment. Further research is suggested in order to improve the understanding of PBZ effect on white poplar.

ADDITIONAL KEYWORDS: Tree topping, carbohydrates, plant growth regulator.

INTRODUCCIÓN

El chopo blanco (*Populus alba* L.) es una especie arbórea comúnmente utilizada en ambientes urbanos y semi-urbanos en México (Martínez, 2008). Es una especie que se caracteriza por el color contrastante del follaje, la textura de la corteza y el porte de tamaño intermedio, lo que la hace atractiva para alineación, jardines o banquetas (Martínez y Chacalo, 1994). El chopo blanco tiene hábito de crecimiento redondeado y tolera el despunte de la copa, por lo que administradores del arbolado urbano han implementado la reducción del tamaño con fines “estéticos”, lo que ha provocado repercusiones negativas en la vitalidad del árbol.

La poda en especies arbóreas es una actividad de manejo necesaria en varias circunstancias (Lilly, 2001). Sin embargo, la reducción de la altura o copa de los árboles sin fundamentos técnicos (desmoche o despunte) generalmente ocasiona problemas en el crecimiento y desarrollo del arbolado (Kuhns y Reiter, 2007). Entre estos efectos está el desbalance en la acumulación de carbohidratos, que genera falta de compartimentación de heridas y producción de rebrotes con débil unión a la rama (Karlovich *et al.*, 2000). Otro efecto de los despuntes es que al realizarlos de manera recurrente reducen la acumulación de carbohidratos en el árbol, por el uso continuo de reservas en el proceso de compartimentación de las heridas (Fazio y Krumpe, 1999).

Pallardy (2008) señala que el uso de reguladores de crecimiento es un medio alternativo para modificar el crecimiento de los brotes y la acumulación de biomasa, pero el uso de estas sustancias en el mantenimiento del arbolado urbano es aún limitado (Harris *et al.*, 2004). Las respuestas que se producen en las plantas por el uso de reguladores de crecimiento son diversas: hay alteración de compuestos en las yemas, redistribución de fotosintatos destinados al crecimiento de la copa hacia compuestos de defensa, crecimiento del sistema radical y almacenamiento de energía (Lilly, 2001). Esto da como resultado la mejor tolerancia de las especies a factores que afectan el crecimiento de las plantas en ambientes urbanos.

Entre los reguladores de crecimiento se encuentra el paclobutrazol (PBZ), un inhibidor de las giberelinas que se aplica como solución al suelo donde se localizan las raíces de los árboles. Una vez absorbido y traslocado a la copa, éste provoca una reducción de crecimiento en longitud y diámetro de los brotes nuevos (Bai *et al.*, 2004; George y Nissen, 2002; Grochowska *et al.*, 2004; Keever *et al.*, 1990; Singh, 2000; Williams *et al.*, 2003). Esta reducción en el crecimiento incrementa el almacenamiento de carbohidratos, los cuales sirven como sustancias de reserva de la planta. Por otro lado, PBZ incrementa la producción de clorofila y con ello de los carbohidratos (Percival y AlBalushi, 2007). Aunado a lo anterior, algunas investigaciones

INTRODUCTION

White poplar (*Populus alba* L.) is a tree species commonly used in urban and semi-urban environments in Mexico (Martínez, 2008). This species is characterized by the contrasting color of the foliage, the texture of the bark and height of intermediate size, making it attractive for alignment, gardens or sidewalks (Martínez and Chacalo, 1994). White poplar has rounded growth habit and tolerates the emergence of the cup, so that urban forest managers have implemented crown reduction for “aesthetic” purposes, which has caused a negative impact on the tree vitality.

Pruning tree species is a management activity required under several circumstances (Lilly, 2001). However, reducing height or crown without technical bases (topping) usually causes problems in the growth and development of trees (Kuhns and Reiter, 2007). Among these effects is the imbalance in the accumulation of carbohydrates, which creates a lack of compartmentalization of wounds and production of shoots with weak binding to the branch (Karlovich *et al.*, 2000). Another effect of topping is that recurrently perform reduces the accumulation of carbohydrates in the tree, due to continuous use of reserves in the process of compartmentalization of wounds (Fazio and Krumpe, 1999).

Pallardy (2008) notes that the use of growth regulators is an alternative to modify shoot growth and biomass accumulation, but the use of these substances in the maintenance of urban trees is still limited (Harris *et al.*, 2004). The responses in plants due to the use of growth regulators are different: disturbance of compounds in shoots, redistribution of photosynthates intended for crown growth to defense compounds, root system growth and energy storage (Lilly, 2001). This results in better tolerance of the species to factors affecting the growth of plants in urban environments.

Among the growth regulators we found paclobutrazol (PBZ), an inhibitor of gibberellins applied as a solution to the soil where roots of the trees are found. Once it is absorbed and translocated to the crown, it causes a reduction in length and diameter growth of new shoots (Bai *et al.*, 2004; George and Nissen, 2002; Grochowska *et al.*, 2004; Keever *et al.*, 1990; Singh, 2000; Williams *et al.*, 2003). This reduction in growth increases the storage of carbohydrates, which serve as reserve substances of the plant. Furthermore, PBZ increases the production of chlorophyll and hence the production of carbohydrates (Percival and AlBalushi, 2007). Taking into account the above, some research suggests that PBZ increases the vitality understood as the ability to tolerate biotic or abiotic stresses (Navarro *et al.*, 2007; Percival y AlBalushi, 2007; Sharma *et al.*, 2011) and the growth of the root (Watson, 2000).

In the field of arboriculture and urban forestry, the use of this type of growth regulator in tree species is recent and

señalan que PBZ incrementa la vitalidad entendida como la habilidad para tolerar estreses de origen biótico o abiótico (Navarro *et al.*, 2007; Percival y AlBalushi, 2007; Sharma *et al.*, 2011) y el crecimiento de la raíz (Watson, 2000).

En el área de la arboricultura y dasonomía urbana el uso de este tipo de regulador de crecimiento en especies arbóreas es reciente y existe poca información para la gran cantidad de especies utilizadas con fines urbanos. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de paclobutrazol en el crecimiento y vitalidad de árboles de chopo blanco para contribuir en el conocimiento de su posible utilización en arbolado severamente podado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro de las instalaciones del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados (19° 27' 47.80" LN, 98° 54' 22.14" LO), se seleccionaron 30 árboles de chopo blanco (diámetro del tronco de 20 a 30 cm) que presentaban desmoche frecuente de copa (Figura 1a). Los árboles se localizan en alineación a una distancia de 4.0 m entre cada uno. Las características del sitio donde crecen los árboles se localiza en una transición entre los climas templado semiseco y subhúmedo, con una precipitación media anual de 700 mm (García, 1968).

El suelo del sitio presenta terrenos planos sobre depósitos aluviales lacustres profundos (1.4 m), con buen drenaje, planos en terrazas con pendientes de 1 a 2 %, y textura media. El área presenta alto contenido de sales,

the information is scarce for the large number of species used for urban purposes. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of paclobutrazol on the growth and vitality of white poplar trees to contribute to the knowledge of its possible use in severely pruned trees.

MATERIALS AND METHODS

A total of 30 white poplar trees were selected within the facilities of the Campus Montecillo of the Colegio de Postgraduados (19° 27' 47.80" LN, 98° 54' 22.14" LW). These trees (trunk diameter of 20 to 30 cm) had frequent topping of cup (Figure 1a). The trees are located in alignment at a distance of 4.0 m between each one. The characteristics of the site where these trees grow is located in a transition between temperate and semi humid climate, with an average annual rainfall of 700 mm (García, 1968).

The soil of the site has flat terrain on deep lacustrine alluvial deposits (1.4 m), well drained, flat in terraces with slopes of 1-2 %, and medium texture. The area has a high content of salt, exchangeable sodium, an alkaline pH of 8 to 9.5, and poor drainage (Jasso and Pimentel 1985).

After selecting the trees (experimental unit), we proceeded to the removal of grass growing around them (20 cm around the trunk). Subsequently, we began implementing PBZ solutions (treatments) added directly to the soil around the base of the trunk (Figure 1b). Treatments consisted of three doses: control, 0.4 and 0.8 g of active ingredient per trunk diameter centimeter that corresponded to

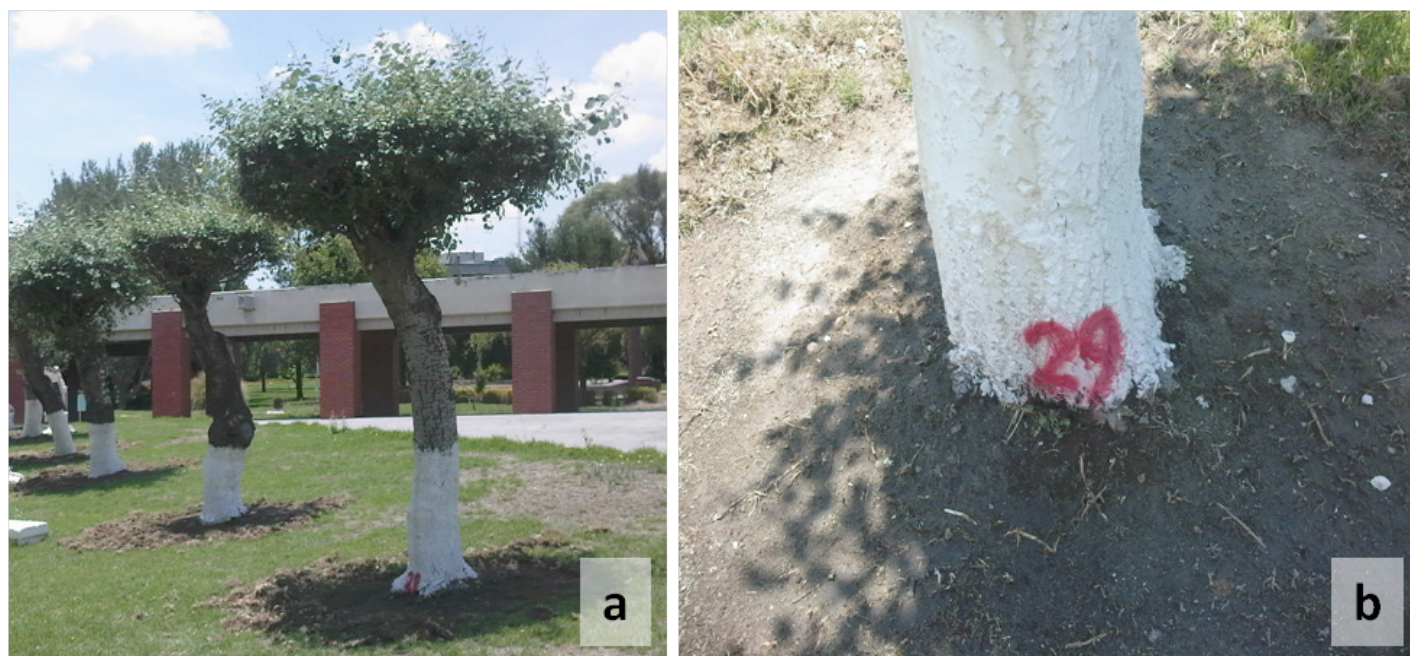


FIGURA 1. Árboles de *Populus alba*. a) desmochados y tratados con paclobutrazol, b) área de aplicación de soluciones de paclobutrazol alrededor del tronco.

FIGURE 1. *Populus alba* trees. a) with topping and treated with paclobutrazol, b) application area of paclobutrazol solutions around trunk.

sodio intercambiable, un pH alcalino de 8 a 9.5, drenaje deficiente (Jasso y Pimentel, 1985).

Después de seleccionar los árboles (unidad experimental), se procedió a la eliminación del pasto que crecía alrededor de los mismos (20 cm alrededor del tronco). Posteriormente se dio inicio a la aplicación de soluciones de PBZ (tratamientos) vertidas directamente al suelo alrededor de la base del tronco (Figura 1b). Los tratamientos consistieron en tres dosis: testigo, 0.4 y 0.8 g de ingrediente activo por centímetro de diámetro del tronco que correspondió a 0, 50 y 100 % de la dosis recomendada para el género *Populus*. La distribución de los tratamientos se realizó de manera aleatoria con cinco repeticiones por tratamiento.

Para evaluar el efecto de PBZ en el crecimiento de los árboles se registró el diámetro del tronco antes de aplicar los tratamientos y a los 8 y 20 meses después. Se marcó la altura a la cual se hizo el corte de las ramas de la copa para determinar el crecimiento de los rebrotes. De igual manera se colectaron al azar 10 hojas por árbol para evaluar diferencias en el tamaño de la hoja. Estas se digitalizaron y analizaron con el Software ImageJ (Abràmoff *et al.*, 2004; Martínez-Trinidad *et al.*, 2009).

Para evaluar la vitalidad del arbolado se determinó la relación entre el contenido de azúcares reductores y totales. Para ello se tomó una muestra de 10 hojas por árbol, y cuatro muestras de madera de la base del tronco con un martillo de incrementos (Haglof®; Langsele, Sweden). Las mediciones se realizaron a los 8 y 20 meses después de la aplicación de los tratamientos. Para determinar la concentración de los azúcares reductores se empleó el método colorimétrico de Somogyi (1952) y se usó un espectrofotómetro Spectronic 21D Milton Roy registrando la absorbancia a 565 nm. La concentración de azúcares reductores se estimó con una curva patrón que contenía glucosa de 15 a 150 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. Para los azúcares totales se utilizó el método de la antrona (Witham *et al.*, 1971). En este caso la absorbancia se registró a 600 nm en el espectrofotómetro y la concentración de azúcares totales se estimó con una curva patrón que contenía glucosa de 20 a 200 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$.

Se determinó la fluorescencia de clorofila (Fv/Fm), indicador que se ha utilizado para establecer la vitalidad en arbolado urbano (Percival y Fraser, 2005; Martínez-Trinidad *et al.*, 2009). Las hojas se adaptaron a la oscuridad con clips sobre la superficie de la hoja y se realizaron lecturas con un fluorímetro portátil Handy PEA (Hansatech Instruments Ltd, King's Lynn, UK) al inicio del experimento y, a los 8 y 20 meses después de la aplicación de los tratamientos. Los datos se analizaron con el programa Biolyzer (Percival *et al.*, 2006).

El análisis de resultados se realizó a través del programa de cómputo estadístico SPSS (Statistical Product

0, 50 and 100 % of the dose recommended for the genus *Populus*. The distribution of the treatments was conducted randomly with five replications per treatment.

Trunk diameter was measured before applying the treatments and at 8 and 20 months after applying treatments to evaluate the effect of PBZ in tree growth. We marked the crown height at which the cut of branches was made to determine the growth of the shoots. Similarly 10 leaves per tree were collected randomly to assess differences in the leaf size. Data was digitized and analyzed using the Software ImageJ (Abràmoff *et al.*, 2004; Martínez-Trinidad *et al.*, 2009).

To assess the tree vitality, we determined the relationship between content of reducing sugars and total sugars. Therefore, a sample of 10 leaves per tree, and four wood samples from the base of the trunk using an increment hammer were taken (Haglof®; Langsele, Sweden). Measurements were conducted at 8 and 20 months after treatment application. To determine the concentration of reducing sugars we used the colorimetric method of Somogyi (1952) and used the 21D Milton Roy Spectronic spectrophotometer, recording the absorbance at 565 nm. The reducing sugar concentration was estimated using a standard curve containing glucose from 15 to 150 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. In the case of total sugars, we used the anthrone method (Witham *et al.*, 1971). In this case, the absorbance was recorded at 600 nm using a spectrophotometer and the total sugar concentration was estimated using a standard curve containing glucose from 20 to 200 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$.

We determined the chlorophyll fluorescence (Fv/Fm), an indicator that has been used to establish the vitality in urban trees (Percival y Fraser, 2005; Martínez-Trinidad *et al.*, 2009). Leaves were adapted to darkness with clips on the leaf surface and readings were taken using a portable fluorometer Handy PEA (Hansatech Instruments Ltd, King's Lynn, UK) at the beginning of the experiment and at 8 and 20 months after applying treatments. Data were analyzed using the program Biolyzer (Percival *et al.*, 2006).

The analysis of results was performed using the statistics program SPSS (Statistical Product and Service Solution) v.15 for Windows (SPSS, Chicago, Ill) under a completely randomized design. When the main factors were significant ($P \leq 0.05$) for the growth variables, multiple comparison of means between treatments was conducted using the Tukey test (HSD, $\alpha=0.05$). The relationship between total and reducing sugars was analyzed using the Kruskal Wallis test and the sum of ranks of Wilcoxon.

RESULTS AND DISCUSSION

The increase in trunk diameter was significant ($P \leq 0.05$) at eight months after applying PBZ (Table 1). How-

and Service Solution) v.15 para Windows (SPSS, Chicago, Ill) bajo un diseño completamente al azar. Cuando los factores principales fueron significativos ($P \leq 0.05$) para las variables de crecimiento, se realizó la comparación múltiple de medias entre tratamientos usando la prueba de Tukey (HSD, $\alpha=0.05$). La relación entre azúcares reductores y totales, se analizó con la prueba Kruskal Wallis y la suma de rangos de Wilcoxon.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El incremento en el diámetro del tronco fue significativo ($P \leq 0.05$) a los ocho meses después de la aplicación de PBZ (Cuadro 1). No obstante, este efecto se perdió después de 20 meses de su aplicación, incluso para la dosis de 0.8 g. La reducción de crecimiento del tronco se ha observado en estudios realizados en otras especies arbóreas como roble blanco (*Quercus alba* L.), roble rojo (*Q. rubra*), roble rojo del sur (*Q. falcata* var. *pagodifolia* Ell.) y olmo americano (*Ulmus americana*) (Bai *et al.*, 2004; Watson, 2001). No se encontraron diferencias en el crecimiento de los rebrotes entre los tratamientos. Para la variable tamaño de hoja, el efecto fue significativo sólo para la dosis de 0.8 g de PBZ, a los ocho meses después de la aplicación. A pesar de observarse una reducción en el tamaño de la hoja, esta no fue significativa como en árboles de encino (Gilman, 2004; Martínez-Trinidad *et al.*, 2011). En el presente estudio, la reducción en las hojas fue de sólo un 15 %, lo cual está por debajo de la reducción reportada para otras especies donde se ha observado entre 22 y 66 % (Arron *et al.*, 1997; Bai *et al.*, 2004; Jacyna, 2007). La leve reducción en el tamaño de la hoja por parte de PBZ puede explicar los resultados de crecimiento en el diámetro del tronco y en general en el crecimiento de los árboles en un segundo periodo de brotación de yemas. La reducción en el crecimiento puede favorecer la vitalidad en el arbolado. Landhäusser *et al.* (2012) señalan que en álamo temblón (*Populus tremuloides* Michx.) largos periodos de crecimiento tienden a reducir el crecimiento de la raíz, así como la concentración de carbohidratos. En

ever, this effect was lost after 20 months after applying the treatment, even for the dose of 0.8 g. The reduction of trunk growth has been observed in studies performed in other tree species such as white oak (*Quercus alba* L.), red oak (*Q. rubra*), southern red oak (*Q. falcata* var. *pagodifolia* Ell.) and American elm (*Ulmus americana*) (Bai *et al.*, 2004; Watson, 2001). No differences in the growth of shoots among treatments were observed. For the variable leaf size, the effect was significant only for the dose of 0.8 g of PBZ, at eight months after the application. Despite the observation of reduction in leaf size, this was not significant compared to oak trees (Gilman, 2004; Martínez-Trinidad *et al.*, 2011). In the present study, the reduction in leaves was only 15 %, which is below the reduction reported for other species with 22 and 66 % (Arron *et al.*, 1997; Bai *et al.*, 2004; Jacyna, 2007). The slight reduction in the size of the leaf due to the PBZ can explain the results of growth in trunk diameter and overall growth of the trees in a second period of shoots. The reduction in growth may favor the vitality in trees. Landhäusser *et al.* (2012) note that in aspen (*Populus tremuloides* Michx.) long periods of growth tend to reduce root growth and carbohydrate concentration. Some species such as White Birch (*Betula papyrifera* Marsh.) and Austrian pine (*Pinus nigra* J.F. Arnold) have reported that growth reduction has not affected the photosynthesis (Chorbadian *et al.*, 2011). We conclude that although PBZ promotes growth reduction, the effect varies according to the species.

Watson (2001) conducted an experiment under greenhouse conditions using American elm trees and low doses of PBZ, obtaining a reduction in shoot growth, and similarly to the present study no significant differences in growth reduction were observed. Meanwhile, Martínez-Trinidad *et al.* (2011) in his study with evergreen oak (*Quercus virginiana* Mill.) suggest lower doses of PBZ to avoid a dramatic effect in reducing the foliage. Although it is indicated that there is a residual effect after using PBZ in solutions applied to the soil (Bai *et al.*, 2004), the white poplar study showed that the effect is lost in the next growth season.

CUADRO 1. Incremento en el diámetro de tallo y tamaño de la hoja en chopo blanco desmochado y tratado con paclobutrazol (PBZ). Valores a los 8 y 20 meses después de aplicar los tratamientos.

TABLE 1. Increase in trunk diameter and leaf size in white poplar with topping and treated with paclobutrazol (PBZ). Values at 8 and 20 months after applying treatments.

Tratamiento / Treatment	8 meses / 8 months		20 meses / 20 months	
	Incremento en diámetro / Increment in diameter (cm)	Tamaño de hoja / Leaf size (cm ²)	Incremento en diámetro / Increment in diameter (cm)	Tamaño de hoja / Leaf size (cm ²)
Testigo / Control	0.53a ^z	14.44a	0.77a	10.27a
0.4 g PBZ	0.41a	13.34a	0.66a	11.10a
0.8 g PBZ	0.14b	12.27b	0.58a	10.83a

^zMedias con diferente letra dentro de cada columna son diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

^aMeans with different letter within each column are different (Tukey, $P \leq 0.05$).

algunas especies como abedul papirífero (*Betula papyrifera* Marsh.) y pino salgareño (*Pinus nigra* J.F. Arnold) se ha reportado que la reducción del crecimiento no afectó la fotosíntesis (Chorbadjian *et al.*, 2011). Se concluye que a pesar de que PBZ promueve la reducción del crecimiento, el efecto varía de acuerdo a la especie.

Watson (2001) realizó un experimento bajo condiciones de invernadero con árboles de olmo americano y dosis bajas de PBZ, y hubo reducción en el crecimiento de los brotes, y de manera similar al presente estudio no mostraron diferencias significativas en la reducción del crecimiento. Por su parte, Martínez-Trinidad *et al.* (2011) en su estudio con encino siempreverde (*Quercus virginiana* Mill.) sugieren reducir las dosis de PBZ para evitar un efecto drástico en la reducción del follaje. A pesar de que se indica que existe un efecto residual cuando se aplica PBZ en soluciones al suelo (Bai *et al.*, 2004), el estudio en chopo blanco mostró que el efecto se pierde durante la siguiente etapa de brotación de yemas.

Las diferencias en la relación azúcares reductores/totales tanto en el tronco como en el follaje sólo fue significativa ($P \leq 0.05$) después de ocho meses de la aplicación de PBZ (Cuadro 2). En esta fecha, la concentración de azúcares no reductores fue mayor, producto del crecimiento tanto del tronco como del follaje (Bai *et al.*, 2004; Grochowska *et al.*, 2004). Esto difiere a lo observado en árboles de encino, donde la alteración en la concentración de carbohidratos en el tronco no fue afectada (Martínez-Trinidad *et al.*, 2011). Otros estudios han encontrado que la aplicación de PBZ incrementa el contenido de carbohidratos (Watson, 2001, 2006). Por ser el chopo blanco una especie caducifolia, con la evaluación de carbohidratos al final de la etapa de crecimiento, se esperaba encontrar un aumento en azúcares no reductores (reserva) como indicador de vitalidad en el arbolado (Martínez-Trinidad *et al.*, 2009).

La fluorescencia de clorofila no fue afectada significativamente por la aplicación de PBZ después de ocho meses ($Fv/Fm = 0.76$). Los valores se redujeron significa-

The differences in reducing/total sugars ratio both in trunk and foliage was significant ($P \leq 0.05$) only after eight months of the application of PBZ (Table 2). On this date, the non-reducing sugar concentration was higher, due to the growth of both trunk and foliage (Bai *et al.*, 2004; Grochowska *et al.*, 2004). This differs to that observed in oak trees, where the alteration in the concentration of carbohydrates in the trunk was not affected (Martínez-Trinidad *et al.*, 2011). Other studies have found that the application of PBZ increases the carbohydrate content (Watson, 2001, 2006). Because white poplar is a deciduous species, with the assessment of carbohydrates at the end of the growing season, we expected to find an increase in non-reducing sugar (reserve) as an indicator of vitality in trees (Martínez-Trinidad *et al.*, 2009).

Chlorophyll fluorescence was not significantly affected by the application of PBZ after eight months ($Fv/Fm = 0.76$). The values were significantly reduced ($P \leq 0.05$) 20 months after applying treatments. The average results of Fv/Fm were 0.65 in the control, 0.61 for 0.4 g PBZ and 0.63 for 0.8 g PBZ. Unlike what was expected, the values decreased with the application of PBZ in a second growth season. This could be attributed to the reduction in the size of the leaves and trunk diameter, which could generate an unbalance in the accumulation of carbohydrates in the species. Contrary to the results of this study, the oak tree values Fv/Fm of chlorophyll fluorescence increased indicating greater vitality, probably due to the higher concentration of leaf chlorophyll (Martínez-Trinidad *et al.*, 2011).

CONCLUSIONS

Paclobutrazol applied to white poplar trees with topping caused little reduction in the growth of trunk and leaves, and the effect was lost on the following growing season.

Treatments had little effect on the accumulation of carbohydrates, whereas the fluorescence values were diminished. Therefore, the application of PBZ did not improve the recovery of vitality as suggested for other species growing in urban environments.

CUADRO 2. Relación entre carbohidratos reductores y totales (CR / T) en tronco y follaje de Chopo blanco desmochado y tratado con paclobutrazol (PBZ) a los 8 y 20 meses después de aplicar los tratamientos.

TABLE 2. Ratio between reducing and total carbohydrates (CR / T) in trunk and white poplar foliage with topping and treated with paclobutrazol (PBZ) at 8 and 20 months after applying treatments.

Tratamiento / Treatment	8 meses / 8 months		20 meses / 20 months	
	CR / T tronco	CR / T follaje	CR / T tronco	CR / T follaje
	CR / T trunk	CR / T foliage	CR / T trunk	CR / T foliage
Testigo / Control	0.29a ²	0.44a	0.37a	0.43a
0.4 g PBZ	0.29a	0.46a	0.38a	0.44a
0.8 g PBZ	0.26b	0.46a	0.47a	0.44a

²Medias con diferente letra dentro de cada columna son diferentes (Wilcoxon, $P \leq 0.05$).

²Means with different letter within each column are different (Wilcoxon, $P \leq 0.05$).

tivamente ($P \leq 0.05$) a los 20 meses después de aplicar los tratamientos. Los resultados promedio de Fv/Fm fueron 0.65 en el testigo, 0.61 para el 0.4 g de PBZ y de 0.63 para el 0.8 g de PBZ. A diferencia de lo que se esperaba, los valores disminuyeron con la aplicación de PBZ en un segundo ciclo de crecimiento. Lo anterior pudo ser atribuido a la reducción en el tamaño de las hojas y el diámetro del tronco, lo que pudo generar un desbalance en la acumulación de carbohidratos en la especie. Contrario a los resultados del presente estudio, en árboles de encino los valores Fv/Fm de fluorescencia de clorofila aumentaron indicando una mayor vitalidad, probablemente por la mayor concentración de clorofila en la hoja (Martínez-Trinidad *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

El paclobutrazol aplicado en árboles despuntados de chopo blanco provocó poca reducción en el crecimiento del tronco y las hojas, y el efecto se perdió en la siguiente temporada de crecimiento.

Los tratamientos tuvieron un efecto limitado en la acumulación de carbohidratos, mientras que los valores de fluorescencia se vieron disminuidos. Por lo tanto, la aplicación de PBZ no fue positiva en la recuperación de la vitalidad como se ha sugerido para otras especies crecidas en ambientes urbanos.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó con apoyo de CONACYT a través del "Apoyo complementario para la consolidación institucional de grupos de investigación" modalidad: repatriación.

LITERATURA CITADA

- ABRÀMOFF, M. D.; MAGALHÃES, P. J.; RAM, S. J. 2004. Image processing with ImageJ. *Biophotonics International* 11(7): 36-42. <http://www.imagescience.org/meijering/publications/download/bio2004.pdf>
- ARRON, G. P.; BECKER, S.; STUBBS, H. A.; SZETO, E. W. 1997. An evaluation of the efficacy of tree growth regulators paclobutrazol, flurprimidol, dikegulac, and uniconazole for utility line clearance. *Journal of Arboriculture* 23(1): 8-16. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=2747&Type=2>
- BAI, S.; CHANEY, W.; QI, Y. 2004. Response of cambial and shoot growth in trees treated with paclobutrazol. *Journal of Arboriculture* 30(3): 137-145. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=137&Type=2>
- CHORBADJIAN, R. A.; BONELLO, P.; HERMS, D. A. 2011. Effect of the growth regulator paclobutrazol and fertilization on defensive chemistry and herbivore resistance of austrian pine (*Pinus nigra*) and paper birch (*Betula papyrifera*). *Arboriculture & Urban Forestry* 37(6): 278-287. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=3215&Type=2>

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by CONACYT through "complementary support program for institutional consolidation of research groups" mode: repatriation.

End of English Version

- com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=3215&Type=2
- FAZIO, J. R.; KRUMPE, E. E. 1999. Underlying beliefs and attitudes about topping trees. *Journal of Arboriculture* 25(4): 193-199. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=2855&Type=2>
- GARCÍA, E. 1968. Los Climas del Valle de México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 63 p.
- GEORGE, A. P.; NISSEN, R. J. 2002. Control of tree size and vigor in custard apple (*Annona* spp. hybrid) cv. African Pride in subtropical Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 42(4): 503-512. doi: 10.1071/EA01037
- GILMAN, E. F. 2004. Effects of amendments, soil additives, and irrigation on tree survival and growth. *Journal of Arboriculture* 30(5): 301-310. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=159&Type=2>
- GROCHOWSKA, M. J.; HODUN, M.; MIKA, A. 2004. Improving productivity of four fruit species by growth regulators applied once in ultra-low doses to the collar. *The Journal of Horticulture & Science Biotechnology* 79(2): 252-259. http://www.jhortscib.org/Vol79/79_2/14.htm
- HARRIS, R. W.; CLARK, J. R.; MATHENY, N. P. 2004. *Arboriculture: Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs, and Vines*. Prentice Hall. Upper Saddle River, Nueva Jersey, USA. 592 p.
- JACYNA, T. 2007. Effects of paclobutrazol applied to tree bark on performance of sweet cherry and apparent soil residue. *The Journal of Horticulture & Science Biotechnology* 82(1): 19-24. http://www.jhortscib.org/Vol82/82_1/5.htm
- JASSO M., J.; PIMENTEL, B. L. 1985. Establecimiento de áreas verdes en el predio Montecillo aledaño a Chapingo. III Reunión Nacional Forestal. INIFAP. D.F., México. pp. 606-640.
- KARLOVICH, D. A.; GRONINGER, J. W.; CLOSE, D. D. 2000. Tree condition associated with topping in Southern Illinois communities. *Journal of Arboriculture* 26(2): 87-91. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=2880&Type=2>
- KEEVER, G. J.; FOSTER, W. J.; STEPHENSON, J. C. 1990. Paclobutrazol inhibits growth of woody landscape plants. *Journal of Environmental Horticulture* 8(1): 41-47. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=3215&Type=2>

- www.hrresearch.org/docs/publications/JEH/JEH_1990/JEH_1990_8_1/JEH%208-1-41-47.pdf
- KUHNS, M. R.; REITER, D. K. 2007. Knowledge of and attitudes about utility pruning and how education can help. *Arboriculture & Urban Forestry* 33(4): 264–274. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=3002&Type=2>
- LANDHÄUSSER, S. M.; PINNO, B. D.; LIEFFERS, V. J.; CHOW, P. S. 2012. Partitioning of carbon allocation to reserves or growth determines future performance of aspen seedlings. *Forest Ecology and Management* 275(1): 43–51. doi: 10.1016/j.foreco.2012.03.010.
- LILLY, S. J. 2001. Arborists' certification study guide. International Society of Arboriculture, Champaign, IL. 222 p.
- MARTÍNEZ G., L. 2008. Árboles y Áreas Verdes Urbanas de la Ciudad de México y Zona Metropolitana. Fundación Xochitla A.C. México. 549 p.
- MARTÍNEZ, G. L.; CHACALO H. A. 1994. Los Árboles de la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 351 p.
- MARTÍNEZ-TRINIDAD, T.; WATSON, W. T.; BOOK, R. K. 2011. Impact of paclobutrazol on root-pruned live oak. *HortTechnology* 21(1): 46–50. <http://horttech.ashspublications.org/content/21/1/46.abstract>
- MARTÍNEZ-TRINIDAD, T.; WATSON, W. T.; ARNOLD, M. A.; LOMBARDINI, L. 2009. Investigations of exogenous applications of carbohydrates on the growth and vitality of live oaks. *Urban Forestry & Urban Greening* 8(1): 41–48. doi: 10.1016/j.ufug.2008.11.003
- NAVARRO, A.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; BAÑON, S. 2007. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performance of *Arbutus unedo* seedlings. *Scientia Horticulturae* 111(2): 133–139. doi: 10.1016/j.scienta.2006.10.014
- PALLARDY, S.G. 2008. *Physiology of Woody Plants*. Tercera edición. Academic Press. New York, USA. 464 p.
- PERCIVAL, G. C.; ALBALUSHI, A. M. S. 2007. Paclobutrazol-induced drought tolerance in containerized english and evergreen oak. *Arboriculture & Urban Forestry* 33(6): 397–409. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=3018&Type=2>
- PERCIVAL, G. C.; FRASER, G. A. 2005. Use of sugars to improve root growth and increase transplant success of birch (*Betula pendula* Roth). *Journal of Arboriculture* 31(2): 66–77. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=179&Type=2>
- PERCIVAL, G. C.; KEARY, I. P.; AL-HABSI, S. 2006. An assessment of the drought tolerance of *Fraxinus* genotypes for urban landscape plantings. *Urban Forestry & Urban Greening* 15(1): 17–27. doi: 10.1016/j.ufug.2006.03.002
- SHARMA, D. K.; DUBEY, A. K.; SRIVASTAV, M.; SINGH, A. K.; SAIRAM, R. K.; PANDEY, R. N.; DAHUJA, A.; KAUR, C. 2011. Effect of putrescine and paclobutrazol on growth, physiochemical parameters, and nutrient acquisition of salt-sensitive citrus rootstock Karna khatta (*Citrus karna* Raf.) under NaCl stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 30(3): 301–311. doi: 10.1007/s00344-011-9192-1
- SINGH, Z. 2000. Effects of (2RS, 3RS) paclobutrazol on tree vigour, flowering, fruit set and yield in mango. *Acta Horticulturae* 525: 459–462. http://www.actahort.org/books/525/525_67.htm
- SOMOGYI, M. 1952. Notes on sugar determination. *The Journal of Biological Chemistry* 195(1): 19–23. <http://www.jbc.org/content/195/1/19.full.pdf>
- WATSON, G. W. 2000. Tree root system enhancement with paclobutrazol, pp. 131–135. In: *The Supporting Roots of Trees and Woody Plants: Form, Function and Physiology* STOKES, A. (ed.). Springer Netherlands. Dordrecht, The Netherlands. doi: 10.1007/978-94-017-3469-1_12
- WATSON, G. W. 2001. Soil applied paclobutrazol affects root growth, shoot growth, and water potential of American elm seedlings. *Journal of Environmental Horticulture* 19(3): 119–122. http://www.hrresearch.org/docs/publications/JEH/JEH_2001/JEH_2001_19_3/JEH%2019-3-119-122.pdf
- WATSON, G. W. 2006. The effect of paclobutrazol treatment on starch content, mycorrhizal colonization, and fine root density of white oaks (*Quercus alba* L.). *Arboriculture & Urban Forestry* 32(3): 114–117. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=233&Type=2>
- WILLIAMS, D. R.; POTTS, B. M.; SMETHURST, P. J. 2003. Promotion of flowering in *Eucalyptus nitens* by paclobutrazol was enhanced by nitrogen fertilizer. *Canadian Journal of Forest Research* 33(1): 74–81. doi: 10.1139/x02-157
- WITHAM, F. H.; BLAYDES, D. F.; DEVLIN, R. M. 1971. *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold Company. New York, USA. 245 p.