

PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* Engelm. EN MEZCLAS DE SUSTRATO CON HIDROGEL Y RIEGO, EN VIVERO

NURSERY PRODUCTION OF *Pinus greggii* Engelm. IN MIXTURES OF SUBSTRATE WITH HYDROGEL AND IRRIGATION LEVELS

K. Reyna Maldonado-Benitez, Arnulfo Aldrete*, Javier López-Upton, Humberto Vaquera-Huerta, V. Manuel Cetina-Alcalá

Forestal. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (aalldrete@colpos.mx), (uptonj@colpos.mx), (hvaquera@colpos.mx), (vicmac@colpos.mx).

RESUMEN

Existen subproductos industriales maderables útiles como sustratos o sustancias acondicionadoras para mejorar la humedad disponible a las plantas en vivero. Para contribuir a su aprovechamiento se evaluó el efecto de un polímero sintético (hidrogel) en mezclas de sustrato alternativo con cuatro niveles de riego para la producción de *Pinus greggii* Engelm., en vivero. El diseño experimental fue de parcelas divididas con un tratamiento adicional, y se probaron 10 mezclas de sustrato compuestas por aserrín, corteza de pino, turba, agrolita y vermiculita. Cinco meses después de aplicar los riegos, las plantas desarrolladas en 20 % corteza + 80 % aserrín y 4 g L⁻¹ de hidrogel presentaron el mayor incremento ($p \leq 0.05$) para las variables altura (21.8 cm) y diámetro (3 mm). En los tratamientos sin restricción de humedad las tasas de crecimiento fueron mayores ($p \leq 0.05$) en altura (32.8 cm), diámetro del cuello (3.3 mm) y relación parte aérea / raíz (2.13). Sin embargo, en la condición de estrés los incrementos no fueron significativos para la altura (15.64 cm), diámetro del cuello (2.56 mm) y relación parte aérea / raíz (1.8). Los tratamientos con dosis altas de hidrogel tienen éxito como medio de crecimiento al presentar valores cercanos al testigo.

Palabras clave: *Pinus greggii* Engelm., calidad de planta, sustrato, hidrogel, riego, vivero.

INTRODUCCIÓN

En el vivero es necesario contar con material genético confiable, así como incorporar tecnología específica en el proceso de producción.

ABSTRACT

There are timber industrial byproducts useful such as substrates or conditioners useful to improve water availability for nursery plants. In order to contribute to their utilization we assessed the effect of a synthetic polymer (hydrogel) in alternative substrate mixtures under four irrigation levels for the production of *Pinus greggii* Engelm., in nursery. The experimental design was a split plot with an additional treatment, and 10 substrate mixtures composed of sawdust, pine bark, peat, agrolite, and vermiculite were tested. Five months after applying irrigation levels, the plants developed in 20 % of bark + 80 % of sawdust and 4 g L⁻¹ of hydrogel, showed the highest increment ($p \leq 0.05$) for the variables height (21.8 cm) and diameter (3 mm). In the treatments without humidity restriction growth rates were greater ($p \leq 0.05$) in height (32.8 cm), root collar diameter (3.3 mm) and shoot / root ratio (2.13). However, under stress condition increments of height (15.64 cm), root collar diameter (2.56 mm), and shoot / root ratio (1.8) were not significant. The treatments with high doses of hydrogel are successful as growth medium, having values close to the control.

Key words: *Pinus greggii* Engelm., plant quality, substrate, hydrogel, irrigation, nursery.

INTRODUCTION

In nurseries it is necessary to count on reliable genetic material as well as incorporating specific technology to the production process. Thus, the substrate in which the first stages are developed is fundamental for obtaining quality plants (Ansorena, 1994). The substrate selection is of special interest for the production of nursery seedlings, since their physical and chemical composition is directly related

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Abril, 2010. Aprobado: Febrero, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 389-398. 2011.

Así, el sustrato en el cual se desarrollan los primeros estadios es un elemento fundamental para obtener plantas de calidad (Ansorena, 1994). La elección del sustrato es de especial interés para producir plántulas en vivero, debido a que su composición física y química está directamente relacionada con el crecimiento, vigor y producción de materia seca y supervivencia de las especies (Prieto, 1999). Por lo general, se usan mezclas de diferentes tipos buscando una textura liviana que facilite el drenaje y la aireación, y que presenten un medio apropiado donde la planta desarrolle un sistema radical adecuado para prosperar en el terreno definitivo (García *et al.*, 2001).

El aserrín y la corteza de pino, subproductos biodegradables y reciclables de la industria maderera, son materiales de menor costo que la turba, la agrolita y la vermiculita, los cuales deben importarse. Además, reducen la actividad de hongos fitopatógenos y mejoran la porosidad (Landis *et al.*, 1990). Como auxiliar en el manejo de la plantación y para proteger las raíces se han usado polímeros sintéticos, cuya principal característica es su alta capacidad de retención de agua (Johnson y Leah, 1990; Nissen, 1995), lo que disminuye la frecuencia de irrigación y las pérdidas de productos químicos por lixiviación y lavado (Save *et al.*, 1995).

Debido a la importancia del sustrato en la calidad de planta, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del hidrogel en mezclas de sustrato con aserrín y corteza de pino con cuatro niveles de riego en la producción de *Pinus greggii* Engelm., en vivero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se efectuó en un invernadero con cubierta de plástico en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México; 19° 29' N y 98° 54' O, a una altitud de 2250 m. Las semillas de *P. greggii* Engelm., variedad *australis* Donahue & López se obtuvieron del banco de germoplasma del Programa Forestal, y fueron recolectadas en el 2004 de 15 árboles en la comunidad de Fontezuelas, Meztitlán, Hidalgo.

El aserrín crudo fue de *Pinus patula* Schl. et Cham., del aserradero del ejido Pueblo Nuevo, Zacatlán, Puebla, donde se usa para producir especies forestales en vivero, sustituyendo la turba, agrolita y vermiculita importados de Canadá. La corteza fue de *Pinus douglasiana* Martínez de la región sur del estado de Jalisco, donde se vende composteada.

Las mezclas (Cuadro 1) se prepararon con aserrín en proporciones no mayores de 80 % (Reyes *et al.*, 2005). En este caso se

to growth, vigor, dry matter production, and survival of the species (Prieto, 1999). Generally, mixtures of different type are used, trying to find light texture, facilitating drainage and aeration, which offer an adequate medium, where the plant may develop a root system suitable for thriving in the definite field (García *et al.*, 2001).

Sawdust and pine bark, biodegradable and recyclable by-products of the timber industry, are materials of lesser cost than peat, agrolite, and vermiculite, which must be imported. In addition, these reduce the activity of phytopathogenic fungi and improve porosity (Landis *et al.*, 1990). Synthetic polymers have been used helping in plantation management and protecting the roots, since their main characteristic is their high water retention capacity (Johnson and Leah, 1990; Nissen, 1995), which reduces irrigation frequency and the loss of chemical products through leaching and washing (Save *et al.*, 1995).

Due to the importance of substrate for plant quality, the objective of this study was to evaluate the effect of hydrogel on substrate mixtures with sawdust and pine bark with four irrigation levels in nursery production of *Pinus greggii* Engelm.

MATERIALS AND METHODS

This study was carried out in a greenhouse covered with plastic, located at the Colegio de Postgraduados, Montecillo, State of México; 19° 29' N and 98° 54' W, at an altitude of 2250 m. The seeds of *P. greggii* Engelm., variety *australis* Donahue & López, were obtained from the germoplasm bank of the Programa Forestal, collected from 15 trees at the community of Fontezuelas, Meztitlán, Hidalgo, in 2004.

The fresh sawdust was of *Pinus patula* Schl. et Cham., from the communal sawmill of Pueblo Nuevo, Zacatlán, Puebla, where it is used for the production of forest species in nursery, substituting peat, agrolite, and vermiculite imported from Canada. Bark of *Pinus douglasiana* Martínez was from the south region of the State of Jalisco, where it is composted and sold.

The mixtures (Table 1) were prepared with sawdust at proportions not larger than 80 % (Reyes *et al.*, 2005). In this case, bark and sawdust were combined, utilizing peat, agrolite, and vermiculite as control, which is the most used mixture in plants produced in container nurseries.

On November 28th, 2007, the mixtures were prepared, applying a slow-release fertilizer (Osmocote®) to the substrate at a dose of 5 kg m³ using the formula 14-14-14 (N, P, K). The

combinaron corteza y aserrín ocupando turba, agrolita y vermiculita para el testigo, que es la mezcla más usada en viveros que producen planta en contenedores.

El 28 de noviembre del 2007 se prepararon las mezclas aplicando al sustrato un fertilizante de liberación lenta (Osmocote®), en dosis de 5 kg m⁻³ con la fórmula 14-14-14 (N, P, K). Las dosis de hidrogel usadas en el sustrato fueron 0 (sin dosis), 2 (dosis media) y 4 g L⁻¹ (dosis alta).

La siembra se realizó el 29 de noviembre del 2007 y se depositaron dos a tres semillas en cada contenedor (130 cm³ volumen). Los riegos fueron diarios desde la siembra y la germinación ocurrió un mes después. Para prevenir el ataque de hongos se aplicó Captan® *tioftalamidas* (2 gL⁻¹) y Tecto® *Thiabendazol* (2 g L⁻¹). Se usó H₃PO₄ al 85 % para mantener el agua de riego con un pH de 6. En marzo del 2007 hubo presencia de *Fusarium*, que se controló con una mezcla de Cabendex®, Pircos® y Antrak® (1 g L⁻¹), aplicada cada 8 d con una bomba aspersora durante un mes. Los riegos cada 1, 2, 3 y 4 d comenzaron el 31 de marzo con una regadera manual. Esporádicamente se realizaron deshierbes manuales.

El diseño experimental fue de parcelas divididas con un tratamiento adicional, debido al arreglo factorial (Federer, 1955). Los niveles de riego se ubicaron en las parcelas grandes, y en las parcelas chicas se estableció las nueve combinaciones de sustrato e hidrogel, más el testigo. Los factores fueron: sustrato (3 mezclas), dosis de hidrogel (0, 2 y 4 g L⁻¹) y el testigo. La unidad experimental fue 49 plántulas por tratamiento con tres repeticiones, con un total de 1470 plántulas por cada nivel de riego aplicado a 30 charolas. El tamaño de muestra para el análisis destructivo fue de 15 brinzales elegidos del centro de cada parcela. El análisis de varianza para cada variable fue mediante el procedimiento GLM (SAS, 2004). Las medias se compararon con la prueba de Tukey (p≤0.05).

Las plántulas se evaluaron el 21 de agosto del 2008, cinco meses después de aplicar los niveles de riegos. Se tomaron datos de diámetro del tallo (mm, desde la base del tallo), y altura de la planta (cm, desde la base del tallo, hasta la yema apical); así como las biomásas aérea y radical, con lo cual se calculó la relación parte aérea/raíz, el índice de esbeltez y el índice de calidad de Dickson.

Para evaluar la biomasa se extrajeron las plántulas de los contenedores y se eliminó el sustrato adherido junto con el hidrogel, lavándose cuidadosamente. Las muestras se colocaron en bolsas de papel, por separado la parte aérea y la radical, con sus respectivas identificaciones; se secaron en estufa a 70 °C hasta un peso constante (72 h), luego se pesaron en una balanza analítica (precisión, 1 mg).

La relación parte aérea/raíz se calculó como el cociente entre el peso seco aéreo (g) y el peso seco radical (g) (Thompson,

Cuadro 1. Proporciones de los componentes usados en la mezclas evaluadas.

Table 1. Proportions of components used in evaluated mixtures.

Mezclas	Componentes de las mezclas (%)				
	Corteza	Aserrín	Turba	Agrolita	Vermiculita
1	60	40			
2	40	60			
3	20	80			
4 [†]			60	30	10

†: Mezcla testigo ♦ Control mixture.

hydrogel doses used in the substrate were 0 (without dose), 2 (medium dose) and 4 g L⁻¹ (high dose).

Sowing was carried out on November 29th, 2007, and 2-3 seeds were deposited in each container (volume 130 cm³). Irrigation was made every day starting from sowing, and germination occurred after one month. In order to prevent fungi attack, Captan® *Tioftalamidas* (2 g L⁻¹) and Tecto® *Thiabendazol* (2 g L⁻¹) were applied. In order to maintain irrigation water at pH 6 H₃PO₄ at 85 % was used. In March 2007, there was occurrence of *Fusarium*, which was controlled with a mixture of Cabendex®, Pircos®, and Antrak® (1 g L⁻¹), which was applied every 8 d during one month, using a sprinkler pump. Irrigation every 1, 2, 3, and 4 d began on March 31st using a manually can. Manual weeding was carried out sporadically.

The experimental design was split plot with an additional treatment due to the factorial arrangement (Federer, 1955). Irrigation levels were located in the large plots, whereas the nine combinations of substrate and hydrogel plus the control were established in the small plots. The factors were: substrate (3 mixtures), hydrogel doses (0, 2 and 4 g L⁻¹), and the control. The experimental unit consisted of 49 seedlings per treatment with three replications, with a total of 1470 seedlings per each irrigation level, applied to 30 trays. The sample size for the destructive analysis was of 15 seedlings selected from the center of each plot. The analysis of variance for each variable was conducted by GLM procedure (SAS, 2004). The means were compared with the Tukey test (p≤0.05).

The seedlings were assessed on August 21st, 2008, five months after applying the irrigation levels. Data of stem diameter (mm from the stem base) and plant height (cm from the stem base up to apical bud), were taken, as well as aerial and root biomass, which were used to calculate shoot / root ratio, sturdiness quotient and Dickson's quality index.

In order to evaluate biomass the seedlings were extracted from the containers, and the substrate and hydrogel stuck were

1985). El índice de esbeltez se calculó mediante el coeficiente de la altura y el diámetro del tallo (Prieto *et al.*, 1999). El índice de calidad de Dickson (ICD) se calculó integrando los valores de peso seco total e índice de esbeltez, así como la relación parte aérea/raíz (Dickson *et al.*, 1960).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sustrato, hidrogel y la interacción sustrato*hidrogel mostraron un efecto estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) para las variables altura, diámetro, peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz, relación parte aérea raíz e ICD, indicando que algunas mezclas influyen positivamente sobre estas variables (Cuadro 2).

Las plántulas que presentaron un diámetro (3 mm) y una altura (21.8 cm) mayores se desarrollaron en el sustrato con 80 % aserrín + 20 % corteza con 4 g L⁻¹ de hidrogel (Cuadro 3). El diámetro (2.7 mm) y la altura (19.8 cm) menores ocurrió con 60 % corteza + 40 % aserrín con 4 g L⁻¹ y sin hidrogel. Esto significa que el mejor sustrato produjo plántulas 9.3 % más largas y gruesas que el tratamiento con los menores valores. Respecto a los sustratos hubo diferencias significativas entre las mezclas M1 con 2 y 4 g L⁻¹ hidrogel en las variables altura y peso seco de la parte aérea. Las mezclas con 4 g L⁻¹ de hidrogel tuvieron diferencias significativas en las variables diámetro y peso seco de la parte aérea, en comparación con los tratamientos con 2 g L⁻¹ y sin hidrogel (Cuadro 3).

removed, washing carefully. The samples were placed in paper bags, aerial and root parts separately, with their respective identifications; they were dried out in an oven at 70 °C until obtaining constant weight (72 h); afterwards, they were weighed using an analytic balance (precision, 1 mg).

Shoot / root ratio was calculated as the quotient between aerial dry weight (g) and root dry weight (g) (Thompson, 1985). Sturdiness quotient was determined dividing height by stem diameter (Prieto *et al.*, 1999). Dickson's quality index (ICD) was calculated integrating the values of total dry weight and sturdiness quotient, as well as shoot / root ratio (Dickson *et al.*, 1960).

RESULTS AND DISCUSSION

The substrate, hydrogel, and interaction substrate*hydrogel showed a statistically significant effect ($p \leq 0.05$) for variables height, diameter, shoot dry weight, root dry weight, shoot / root ratio, and ICD, indicating that some mixtures have positive influence on these variables (Table 2).

The seedlings presenting greater diameter (3 mm) and height (21.8 cm) were developed in the substrate with 80 % sawdust + 20 % bark with 4 g L⁻¹ hydrogel (Table 3). The lowest diameter (2.7 mm) and height (19.8 cm) occurred with 60 % bark + 40 % sawdust with 4 g L⁻¹ and without hydrogel. This means that the best substrate produced seedlings 9.3 % longer and thicker than the treatment with the lowest values. With respect to the substrates, there were significant

Cuadro 2. Análisis de varianza para las variables altura (ALT), diámetro (DIAM), peso seco de la parte aérea (PSA), peso seco de la raíz (PSR), relación parte aérea-raíz (R.PA/R), índice de esbeltez (IE), e ICD en respuesta a nueve mezclas de sustrato a base de aserrín e hidrogel en el crecimiento de *P. greggii* Engelm., en vivero.

Table 2. Analysis of variance for variables height (ALT), diameter (DIAM), shoot dry weight (PSA), root dry weight (PSR), shoot / root ratio (R.PA/R), sturdiness quotient (IE), and ICD in response to nine substrate mixtures based on sawdust and hydrogel, in growth of *P. greggii* Engelm., in nursery.

Análisis de varianza								
FV	G.L.	ALT	DIAM	PSA	PSR	R.PA/R	IE	IDC
Sustrato (Sus)	2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0008	NS	0.0001
Hidrogel (Hidro)	2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	NS	0.0001
Sus*Hidro	4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0028	NS	0.0001
Testigo†	1	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	NS	0.0001
Error	1752		0.0001			0.0008		
Total	1761							

NS= no significativo ♦ Not significant.

† Testigo *vs* el efecto del factorial ♦ Control *vs* factorial effect.

Cuadro 3. Respuesta a las mezclas de sustrato en el crecimiento inicial de *P. greggii* Engelm. en vivero, en altura (ALT), diámetro(DIAM), peso seco de la parte aérea (PSA) y peso seco de la raíz (PSR).**Table 3. Response to substrate mixtures at initial growth of *P. greggii* Engelm., in nursery, in height (ALT), diameter (DIAM), shoot dry weight (PSA), and root dry weight (PSR).**

Comparación de medias						
Mezcla	Sustrato	Hidrogel g L ⁻¹	ALT cm	DIAM mm	PSA, g	PSR, g
1	M1	SD	19.17f	2.73c	1.27f	0.74b
2	M1	DM	20.03de	2.81c	1.41e	0.504ed
3	M1	DA	19.84ef	2.72c	1.41e	0.47e
4	M2	SD	20.77cd	2.76c	1.54cd	0.86a
5	M2	DM	21.33bc	2.77c	1.61bc	0.67c
6	M2	DA	21.09bc	2.77c	1.57bc	0.54d
7	M3	SD	20.03de	2.78c	1.39e	0.83a
8	M3	DM	19.88ef	2.77c	1.45de	0.56d
9	M3	DA	21.82b	3.00b	1.67b	0.64c
10	Testigo	Testigo	23.911a	3.38a	1.92a	0.77b

M1 (corteza 60 % y aserrín 40 %); M2 (corteza 40 % y aserrín 60 %); M3 (corteza 20 % y aserrín 80 %). SD=sin dosis; DM= dosis media; DA= dosis alta ♦ M1 (60 % bark +40 % sawdust); M2 (40 % bark + 60 % sawdust); M3 (20 % bark + 80 % sawdust). SD = without dose; DM = medium dose; DA = high dose.

La altura final varió de 15 a 25 cm, recomendada por Prieto *et al.* (1999) para las coníferas de México. Mexal y Landis (1990) indican que con diámetros entre 5 y 6 mm es posible lograr tasas de supervivencia superiores al 80 %. En el presente experimento el diámetro fue menor a los 5 mm en todos los tratamientos.

En el peso seco de la parte aérea el mayor valor (1.67 g) se obtuvo con la mezcla 80 % aserrín + 20 % corteza con 4 g L⁻¹ (T9). Sin embargo, el mayor peso seco de la raíz (0.86 g) fue con la mezcla 60 % de aserrín + 40 % corteza sin hidrogel (T4), pero la misma mezcla con 4 g L⁻¹ de hidrogel (T3) causó un peso de raíz de 0.47 g.

Dentro de las variables indicadoras de la calidad de planta, el valor más alto de la relación parte aérea/raíz (3.83) se presentó en plántulas con el tratamiento 3. No existió el equilibrio esperado entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz (Cuadro 4).

Los valores de la relación PA/R en mezclas con dosis media y alta de hidrogel fueron mayores al intervalo recomendado por Thompson (1985) para sitios con humedad garantizada (2.5). Con base en esta característica se pretende que la parte aérea sea lo más cercano a la biomasa de la raíz (RPA/R ≈1) para una mayor supervivencia en campo, ya que la transpiración de la parte aérea no excede la capacidad de

differences among mixtures M1 and 2 and 4 g L⁻¹ hydrogel for the variables height and shoot dry weight. The mixtures with 4 g L⁻¹ of hydrogel had significant differences for the variables diameter and shoot dry weight, compared to the treatments with 2 g L⁻¹ and without hydrogel (Table 3).

Final height varied from 15 to 25 cm, recommended by Prieto *et al.* (1999) for Mexican conifers. Mexal and Landis (1990) point out that with diameters between 5 and 6 mm it is possible to achieve survival rates higher than 80 %. In the present experiment the diameter was less than 5 mm in all the treatments.

In shoot dry weight the highest value (1.67 g) was obtained with the mixture of 80 % sawdust + 20 % bark with 4 g L⁻¹ (T9). The greatest root dry weight (0.86 g), however, was reached with the mixture of 60 % sawdust + 40 % bark without hydrogel (T4), but the same mixture with 4 g L⁻¹ of hydrogel (T3) generated root weight of 0.47 g.

Among the variables indicating plant quality, the highest value of shoot / root ratio (3.83) appeared in seedlings with treatment 3. The expected balance between growth of aerial part and root did not exist (Table 4).

The values of relation PA/R in mixtures with medium and high doses of hydrogel were higher at

Cuadro 4. Relación parte aérea-raíz (PA/R), índice de esbeltez (IE) e índice de calidad de Dickson (ICD) en respuesta a las mezclas de sustrato en el crecimiento inicial de *P. greggii* Engelm., en vivero.

Table 4. Shoot / root ratio (PA/R), sturdiness quotient (IE), and Dickson's quality index (ICD) in response to substrate mixtures at initial growth of *P. greggii* Engelm. in nursery.

Tratamientos (T)	Comparación de medias				
	Sustrato	Hidrogel g L ⁻¹	R PA/R	IE	ICD
1	M1	SD	1.74e	7.01d	0.23c
2	M1	DM	3.46bc	7.25cd	0.20de
3	M1	DA	3.83a	7.35abcd	0.25e
4	M2	SD	1.89e	7.53abc	0.25b
5	M2	DM	3.14c	7.71a	0.22c
6	M2	DA	3.8ab	7.65ab	0.2d
7	M3	SD	1.73e	7.24cd	0.25b
8	M3	DM	3.18c	7.18cd	0.2d
9	M3	DA	3.40c	7.31bcd	0.22c
10	Testigo	Testigo	2.578d	7.1d	0.28a

*M1 (corteza 60 % y aserrín 40 %); M2 (corteza 40 % y aserrín 60 %); M3 (corteza 20 % y aserrín 80 %). SD=sin dosis; DM=dosis media; DA= dosis alta ♦ M1 (60 % bark +40 % sawdust); M2 (40 % bark + 60 % sawdust); M3 (20 % bark + 80 % sawdust). SD = without dose; DM = medium dose; DA = high dose.

absorción de agua por la raíces. Sin embargo, aunque se carece de esta correlación habitual entre masa aérea y la raíz, en este estudio los tratamientos promovieron el crecimiento de la parte aérea, la cual se elongó ampliamente pero con ramificación escasa debido a la alta disponibilidad de humedad en el sustrato a causa del hidrogel.

Sánchez *et al.* (2008) reportan valores de hasta 3.58 en la RPA/R en sustratos con 40 % corteza + 60 % turba y 20 % corteza + 80 % aserrín, en contenedores de 220 cm³ para la producción de *P. patula*. Los tratamientos con 60 % corteza + 40 % aserrín y 40 % corteza + 60 % aserrín, ambos con 4 g L⁻¹ de hidrogel, fueron superiores a otras coníferas.

Los valores promedio del IE muestran el desequilibrio entre la parte aérea y la raíz. El mayor IE (7.71) se presentó en plántulas desarrolladas en 40 % corteza + 60 % aserrín y 2 g L⁻¹ de hidrogel, y el más bajo (7.01) en el sustrato con 60 % corteza + 40 % aserrín sin hidrogel (Cuadro 4). Al parecer, el exceso del recurso agua debido al hidrogel favoreció el crecimiento en altura a expensas del crecimiento en diámetro y

the interval recommended by Thompson (1985) for sites with guaranteed humidity (2.5). Based on this feature, it is expected that the aerial part be closest to root biomass (RPA/R=1) for better survival under field conditions, since transpiration of the aerial part does not exceed water absorption capacity by the root. Nevertheless, even though this correlation, common between aerial mass and root, is lacking, in this study the treatments promoted the growth of aerial part, which elongated widely, but with scarce ramification because of the high humidity availability in the substrate due to hydrogel.

Sánchez *et al.* (2008) report values up to 3.58 in RPA/R in substrates with 40 % bark + 60 % peat and 20 % bark + 80 % sawdust, in containers of 220 cm³ for production of *P. patula*. The treatments with 60 % bark + 40 % sawdust, and 40 % bark + 60 % sawdust, both with 4 g L⁻¹ of hydrogel, were superior to other conifers.

The mean values of IE show the disequilibrium between aerial part and root. The highest IE (7.71) was present in seedlings developed in 40 % bark + 60 % sawdust and 2 g L⁻¹ of hydrogel, and the lowest (7.01) in the substrate with 60 % bark + 40 % sawdust without hydrogel (Table 4). It seems that the excess of water resource due to hydrogel favored height growth at the expense of growth in diameter and root, as quoted for *Eucalyptus grandis* and other forest species (Castillo *et al.*, 2005).

The highest ICD value (0.28) was found for the control, followed by the mixture with 60 % bark and 40 % sawdust, as well as the substrate with 80 % sawdust + 20 % bark, both without hydrogel (Table 4). These low values are compared with those obtained by Sánchez *et al.* (2008) from 0.17 to 0.30, but they are lower than those found by Reyes *et al.* (2005) in the production of *P. pseudostrobus*, also in a substrate based on sawdust. Given that ICD combines total biomass of the plant with the two previous indexes (shoot / root ratio, and IE), the results obtained are obvious, since they reflect the disequilibrium described above.

Effect of substrate mixtures on four irrigation levels

Irrigation and interaction irrigation*mixtures showed a statistically significant effect ($p \leq 0.05$) for variables: height, diameter, shoot dry weight, root

raíz, como se ha citado para *Eucalyptus grandis* y otras especies forestales (Castillo *et al.*, 2005).

El valor más alto del ICD (0.28) fue para el testigo, seguido por la mezcla con 60 % corteza y 40 % aserrín, así como el sustrato con 80 % aserrín +20 % corteza, ambos sin hidrogel (Cuadro 4). Estos bajos valores se comparan con los obtenidos por Sánchez *et al.* (2008) de 0.17 a 0.30; pero son menores a los encontrados por Reyes *et al.* (2005) en la producción de *P. pseudostrobus*, en un sustrato también a base de aserrín. Dado que el ICD combina la biomasa total de la planta con los dos índices anteriores (relación parte aérea/raíz e IE), los resultados obtenidos son lógicos puesto que reflejan el desequilibrio en el crecimiento ya descrito.

Efecto de las mezclas de sustrato en cuatro niveles de riego

El riego y la interacción riego*mezclas mostraron un efecto estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) para las variables altura, diámetro, peso seco de la parte aérea, peso seco de la raíz, relación parte aérea raíz e ICD (Cuadro 5). En la interacción del riego con las mezclas, la altura promedio de las plantas varió de 33 cm (riego diario) a 16 cm (riego cada cuatro días). Dentro del riego uno y dos, las alturas sobresalientes fueron las de los tratamientos con 40 % corteza y 60 % aserrín en las tres dosis de hidrogel.

El comportamiento de la altura en las plantas al final del estudio mostró la agrupación de los valores en riego 1 y 2 con promedio más alto en comparación del 3 y 4, aunque no fueron mejor ni igualaron los valores del testigo. Además, el diámetro del cuello fue más sensible en las plantas regadas diariamente, con valores hasta 3 mm. Con el tratamiento 9 hubo valores cercanos al testigo en los cuatro riegos (Figura 1).

Caso contrario fue el peso seco de la raíz donde en el riego 1 y 2, el tratamiento 4 (40 % corteza, 60 % aserrín y sin hidrogel) superó a los demás tratamientos y mantuvo valores cercanos al testigo en los otros riegos (Figura 2).

En el peso seco de la parte aérea, a excepción del riego 4 que presentó los valores más bajos, el tratamiento 9 superó al testigo (1.43 g). Estos resultados son similares a los obtenidos por Prieto *et al.* (2004) al evaluar el efecto del estrés hídrico en el potencial hídrico y en el crecimiento de plantas de *P. engelmannii*

dry weight, shoot / root ratio, and ICD (Table 5). In the interaction of irrigation with mixtures, mean plant height varied from 33 cm (daily irrigation) to 16 cm (irrigation every 4 days). Within irrigation one and two, the outstanding heights were those of the treatments with 40 % bark and 60 % sawdust at the three hydrogel doses.

The performance of plant height at the end of the study showed the grouping of values in irrigation 1 and 2 with higher average, compared to that of 3 and 4; although they were not better or equal to the values of the control. Furthermore, root collar diameter was more susceptible in the plants irrigated daily with values up to 3 mm. With treatment 9, values close to the control were achieved in the four irrigations (Figure 1).

The contrary happened in the case of root dry weight, where treatment 4 (40 % bark, 60 % sawdust, and without hydrogel) was superior to the other treatments in irrigation 1 and 2 and maintained values close to the control in the other irrigations (Figure 2).

In shoot dry weight, except irrigation 4, which presented the lowest values, treatment 9 was superior to the control (1.43 g). These results are similar to those obtained by Prieto *et al.* (2004) at evaluating the effect of water stress in water potential and in growth of 5- month-old *P. engelmannii* Carr. plants. In the treatment without humidity restriction, the growth rates were higher in plant height (20.7 %), root collar diameter (69.4 %), and total biomass production (144.1 %) than in those subjected to stress (1.3% height, 9.8 % root collar diameter, and 73.1% total biomass).

The final results of the variables height growth, diameter, and biomass production are important for the definition of the target seedling (Kooistra and Brazier, 1999), emphasizing the importance of irrigation during its production in nursery. Despite being subjected to different irrigation levels during four months only, plant response was immediate, obtaining lower growth rates in the treatments with less humidity (irrigation 3 and 4). This subject has been studied in several species of genus *Pinus*, and most of the results coincide, in the sense of water stress being one of the factors that most limits plant growth (Cetina *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2002; Humara *et al.*, 2002).

Cuadro 5. Análisis de varianza para las variables evaluadas en respuesta a cuatro niveles de riego en el crecimiento inicial de *P. greggii* Engelm, en vivero.**Table 5. Analysis of variance for evaluated variables in response to four irrigation levels at initial growth of *P. greggii* Engelm, in nursery.**

Análisis de varianza								
FV	G.L	ALT	DIAM	PSA	PSR	PA/R	IE	ICD
Riego (Rieg)	3	0.0500	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Mezclas (Mez)	9	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9893NS	0.0001
Rieg*Mez	27	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000NS	0.0001
Repetición	2	0.0043	0.1240	0.0708NS	0.0025	0.0000	0.8543NS	0.0615NS
Error	6	0.0001	0.0068	0.1918NS	0.0033	0.0000	0.6576NS	0.0067
Total	47							

Significativo $p \leq 0.05$; NS= no significativo ♦ Significant $p \leq 0.05$; NS = not significant.

ALT= altura; DIAM= diámetro; PSA= peso seco de la parte aérea; PSR= peso seco de la raíz; IE= índice de esbeltez; PA/R= relación parte aérea-raíz; e ICD= índice de calidad de Dickson ♦ ALT = height; DIAM = diameter; PSA = shoot dry weight; PSR = root dry weight; IE =sturdiness quotient; PA/R shoot / root ratio; ICD = Dickson's Quality Index.

Carr. de cinco meses de edad. En el tratamiento sin restricción de humedad las tasas de crecimiento fueron mayores en altura (20.7 %), diámetro del cuello (69.4 %) y producción total de biomasa (144.1 %), que aquellas sometidas a estrés (1.3 % altura, 9.8 % diámetro del cuello y 73.1 % biomasa total).

Los resultados finales de las variables crecimiento en altura, diámetro y producción de biomasa son relevantes para definir a la planta objetivo (Kooistra y Brazier, 1999), resaltando la importancia del riego durante su producción en vivero. A pesar de que las

CONCLUSIONS

The seedlings developed in substrate 20 % bark + 80% sawdust an 4 g L⁻¹ hydrogel had the highest values for root collar diameter, which is associated to better plant quality and survival under field conditions. Thus, this treatment may be used satisfactorily as a growth medium in order to produce forest species in container production systems.

Hydrogel is an alternative material of practical management. But it is suggested to test adjustment

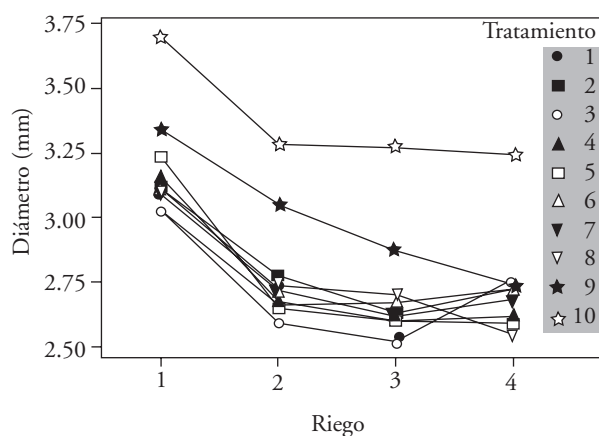


Figura 1. Interacción entre riego y mezclas de sustratos para la variable diámetro en el crecimiento de *P. greggii* Engelm., en vivero.

Figure 1. Interaction irrigation-substrate mixtures for variable diameter in growth of *P. greggii* Engelm, in nursery.

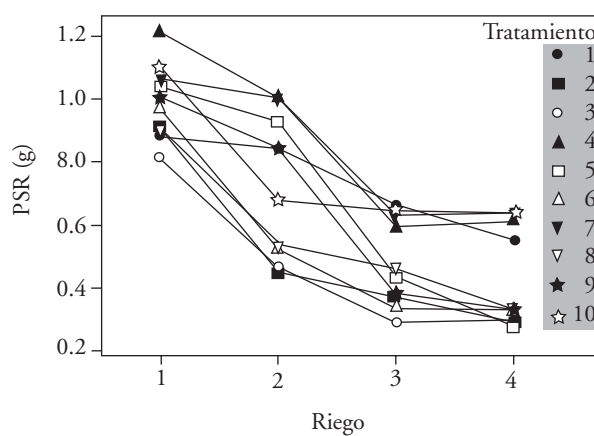


Figura 2. Interacción entre riego y mezclas de sustratos para la variable peso seco de la raíz (PSR) en el crecimiento de *P. greggii* Engelm., en vivero.

Figure 2. Interaction irrigation-substrate mixtures for variable root dry weight (PSR) on growth of *P. greggii* Engelm, in nursery.

plantas estuvieron sometidas a diferentes grados de riego sólo durante cuatro meses, la respuesta de las mismas fue inmediata al obtenerse menores tasas de crecimiento en los tratamientos con menos humedad (riego 3 y 4). Este tema se ha estudiado en varias especies del género *Pinus* y la mayoría de los resultados coinciden en el sentido de que el estrés hídrico es uno de los factores que más restringe el crecimiento de las plantas (Cetina *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2002; Humara *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

Las plántulas desarrolladas en el sustrato 20 % de corteza + 80 % aserrín y 4 g L⁻¹ hidrogel presentaron los valores más altos para diámetro al nivel del cuello de la raíz, que se asocia con mejor calidad de planta y supervivencia en campo. Así, este tratamiento se puede usar satisfactoriamente como medio de crecimiento, para producir especies forestales con sistemas de producción tecnificados.

El hidrogel es un material alternativo de manejo práctico. Pero se sugiere probar un ajuste en la dosis usada en el sustrato y efectuar un riego suficiente para evitar estrés hídrico en las plántulas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento del Proyecto 91233 y al Consejo Mexicano de Ciencia y Tecnología por el apoyo en la parte final del trabajo.

LITERATURA CITADA

- Ansorena, J. 1994. Sustratos: Propiedades y Caracterización. Editorial Mundi Prensa. Madrid. España. 172 p.
- Castillo M., I., R. Medina, J.M. Pérez M., y M. Medina. 2005. Efecto de diferentes regímenes de riego en la calidad de planta de *Eucalyptus grandis* cultivada en vivero sobre tubetes en la provincia de Pinar del Río. Ciencia Tecnología y Medio Ambiente 7(1):1-5.
- Cetina A., V.M., V.A. González H., M. L. Ortega D., J.J. Vargas H., y A. Villegas M. 2002. Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm., previamente sometidos a podas o sequía en vivero. Agrociencia 36:233-241.
- Dickson, A., A. Leaf L., and J.F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. For. Chron. 36(1):10-13.
- Federer, W. T. 1955. Experimental Design. Theory and Application. Montreal. Canada. 539 p.
- García C. O., G. Alcántar G., R. I. Cabrera, F. Gavi R., y V. Volke H. 2001. Evaluación de sustratos para la producción of the dose utilized in the substrate and to carry out sufficient irrigation in order to avoid water stress in the seedlings.
- End of the English version—
- *—
- de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra 19(3): 249-258.
- Humara, J. M., A. Casares, and J. Majada. 2002. Effect of seed size and growing media water availability on early seedling growth in *Eucalyptus globulus*. For. Ecol. Manage. 167:1-11.
- Johnson, M. S., and R. T. Leah. 1990. Effect of superabsorbent polyacrylamide on efficacy of water use by crop seedlings. J. Sci. Food Agric. 52(3): 431-434.
- Kooistra, C., and D. Brazier. 1999. Seedling standards and need for them. In: Landis, T. D., and J. P. Barnett (Tech. Coords.). National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 1998. Gen. Tech. Rep. SRS-25. Asheville, NC. USDA, Forest Service. Southern Research Station. 25 p.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald, and J.P. Barnett. 1990. The Container Tree Nursery Manual. Containers and Growing Media. Vol. 2. Agric. Handbook 674. USDA. Forest Service. Washington 88 p.
- Martínez T., T., J.J. Vargas H., A. Muñoz O., y J. López U. 2002. Respuesta al déficit hídrico de *Pinus leiophylla*: Consumo de agua y crecimiento en plántulas de diferentes poblaciones. Agrociencia 36:365-376.
- Mexal, J.G., and T.D. Landis. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: Rose, R., S. J. Campbell, and T.D. Landis (eds). Target Seedling Symposium: Proceedings Combined Meeting of the Western Forestry Nursery Associations. USDA For. Ser. Oregon, USA. pp: 17-35.
- Nissen, J. 1995. Hidrogeles, análisis comparativo y costo de aplicación de una alternativa no tradicional de abastecimiento de agua a cultivos y frutales del sur de Chile. Agroanálisis 11(131):19-20.
- Prieto R., J.A., G. Vera C., y E. Merlin B. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico N° 12. Campo experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, México. 23 p.
- Prieto R., J.A., E. H. Cornejo O., J. de J. Nívar C., J.G. Marmolejo M., y J. Jiménez P. 2004. Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr. producido en vivero. Invest. Agrar. Sist. Recur. Fores. 13(3): 443-451.
- Reyes R., J., A. Aldrete, V.M. Cetina A., y J. López U. 2005. Producción de plántulas de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustrato a base de aserrín. Revista Chapingo. Series Ciencias Forestales y del Ambiente 2:105-110.
- Sánchez C., T., A. Aldrete, V. M. Cetina A., y J. López U. 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. Madera y Bosques 14(2):41-49.
- SAS Institute Inc. 2004. User's Guide, version 9.1. SAS. Institute. Inc. Cary, NC, USA.
- Save R., M. Pery, O. Marfa, and L. Serrano. 1995. The effect of a hydrophilic polymer on plant water status and survival of transplanted pine seedlings. HortTechnology 5: 141-143.

Thompson, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking. *In*: Duryea, M. L. (ed.). Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test. Forest Research Laboratory. Oregon State University. pp: 59-71.