

Uso del compost de biosólidos en la formulación de sustratos para la producción industrial de plantas de *Nothofagus alpina*

Evaluation of an alternative substrate and a differential nutritional dose on the production and final quality of seedlings of *Nothofagus alpina* in NW Patagonia

Santiago Varela ^{a*}, Abel Martínez ^b

*Autor para correspondencia: ^aEEA INTA Bariloche, Grupo de Ecología Forestal, Modesta Victoria 4450, CP 8400, S. C. de Bariloche, Argentina, svarela@bariloche.inta.gov.ar

^b EEA INTA Bariloche, Unidad de Genética Ecológica y Mejoramiento Forestal, Modesta Victoria 4450, CP 8400, S. C. de Bariloche, Argentina, abelmartinez@bariloche.inta.gov.ar

SUMMARY

One of the main problems in forest seedlings production is an adequate availability of substrate to guarantee the production of good quality plants; the use of certain types of substrates is not legally permitted or even generates undesirable environmental impacts. The aim of this study was to evaluate the feasibility of using composted biosolids + pumicite (1:1) as an alternative substrate for the production of containerized seedlings of *Nothofagus alpina* under fertigation. To obtain better seedlings quality for transplanting, a dose with a concentration of potassium higher than that included in the standard dose commonly used in our region was applied at the last stage of the fertigation cycle. Morphological, physiological and chemical (leaf nutrients) variables and quality indexes were registered in plants. Prior to hardening, plants produced in biosolids compost had higher values of total height and diameter at the base of the stem compared to plants in traditional substrate; at the end of the production, plants produced with biosolids showed higher total plant height and higher root biomass values than those shown by plants under traditional substrate. The extra dose of potassium generated greater growth in plant height compared to plants under the standard dose. Quality index values, as well as stomatal conductance values, were similar among treatments (substrate types and fertilization doses). Plants growing under the different substrates and nutritional doses had similar values in the chemical variables. The results indicate that the biosolids compost would be a feasible alternative for production of seedlings of this species. More detailed studies on the use of plus fertilizer doses should be conducted in the future combined with the use of different types of substrates, due to the improvement observed in total seedling height and some biomass components.

Key words: forest seedling production, fertigation, plant quality, raulí, alternative substrates.

RESUMEN

Uno de los principales problemas para producir plantas forestales industrialmente es disponer de sustrato de buena calidad en cantidad suficiente. El objetivo de este estudio fue evaluar la factibilidad biológica del uso del compost de biosólidos y pumicita (1:1) en la producción de plantas de *Nothofagus alpina* mediante fertirriego en comparación al sustrato tradicional utilizado (turba-pumicita; 1:1). Se analizaron variables morfológicas, fisiológicas, químicas (en hojas) e índices de calidad de las plantas producidas. Adicionalmente, se estudió el efecto de una dosis nutricional extra de potasio en etapa de rusticación. Previo a la rusticación, las plantas en compost de biosólidos presentaron mayores valores de altura total y diámetro a la base del tallo. Al final del ciclo productivo se mantuvo el mayor crecimiento en altura pero se diluyeron las diferencias en diámetro, y en el caso del tratamiento sin dosis extra de potasio también se comprobó un mayor incremento en biomasa de raíces. La dosis extra de fertilización generó un mayor crecimiento en altura de las plantas en comparación a la dosis estándar, no así en el diámetro de las plantas. Los valores del índice de esbeltez (indicativos de calidad de planta) fueron similares entre tratamientos al igual que los valores de conductancia estomática. Las plantas producidas bajo los diferentes tipos de sustrato y dosis nutricionales presentaron similares valores en las variables químicas analizadas. El uso de compost de biosólidos es una alternativa posible e incluso beneficiosa (acortamiento del ciclo) en la producción industrial de plantines de *N. alpina*.

Palabras clave: viverización forestal, fertirriego, calidad de planta, raulí, sustratos alternativos.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de sustrato adecuado en suficiente cantidad para producir plantas a gran escala es uno de los principales problemas que afronta un viverista. Un sustra-

to se define como aquel material (o mezcla de ellos) que servirá de soporte y alimento para la planta durante su desarrollo inicial (Bárbaro y Karlanian 2012); y la selección de un determinado tipo de material es una de las consideraciones más importantes en la producción de plantas

en viveros (Maldonado Benítez 2010). La tendencia actual es la de utilizar sustratos estándar en base a la mezcla de varios componentes, entre los que pueden mencionarse: turba rubia, arena, pumicita (arena volcánica), perlita y vermiculita. La mezcla de estos componentes en variadas proporciones permite obtener sustratos con las características físicas y químicas necesarias para la producción de distintas especies. Sin embargo, el uso de algunos de estos materiales está restringido legalmente (por ejemplo, la turba de musgo del género *Sphagnum*) o generan impactos ambientales indeseables (Abad *et al.* 2001).

Existe gran variedad de materiales alternativos para la elaboración de sustratos que pueden ser utilizados, dependiendo su selección de la disponibilidad y características, las especies a producir, la estación del año, el sistema de propagación y el precio final del producto (Hartmann y Kester 2002). Entre los sustratos potencialmente útiles se encuentran materiales orgánicos, tales como cortezas, virutas de madera, compost de diversos orígenes, fibras de coco, subproductos agroindustriales, turba y musgos deshidratados (Mollitor *et al.* 2004). Muchos viveros se encuentran adyacentes a zonas urbanas, lo que brinda la oportunidad de utilizar residuos orgánicos generados en las ciudades como materia prima para la elaboración de sustratos. Por ejemplo, la utilización de compost de residuos domiciliarios o lodos cloacales (biosólidos) como sustrato en contenedores es una alternativa interesante a nivel económico y ambiental, dado que reduciría el uso de turba y humus en la producción de plantas y el volumen de residuos en vertederos (Ostos *et al.* 2008, Basil *et al.* 2009). Estos materiales pueden actuar como fertilizantes, aportando nutrientes directamente disponibles para las plantas o por mineralización de compuestos orgánicos. La principal desventaja que poseen es la presencia de sales solubles (alta conductividad eléctrica), que limita en parte la proporción en que pueden ser utilizados en mezclas para sustratos (Fitzpatrick 2001, Zubillaga y Lavado 2001).

Si bien los compost de residuos urbanos (domiciliarios y biosólidos) están siendo utilizados a nivel mundial como enmiendas o fertilizantes orgánicos para la producción en almácigo de plantas ornamentales, hortícolas y forestales, existe poca información sobre su uso como sustrato para la producción con fertirriego en contenedores, y aún menos para especies arbustivas y arbóreas nativas de la Patagonia (Basil *et al.* 2009). Regionalmente, suele emplearse la mezcla de turba y vermiculita dado que sus propiedades físicas y químicas son apropiadas para la producción de plantas de ciertas especies de pinos y arbóreas nativas, por ejemplo, especies del género *Nothofagus* (Martínez y Schinelli 2009). Sin embargo, la utilización en grandes volúmenes de estos dos componentes implica un importante costo y, muchas veces, cuestionamientos sociales y legales por tratarse de materiales cuya extracción produce impacto ambiental. Así, la búsqueda de sustratos alternativos locales es un aspecto de interés que debe ser evaluado (Maldonado Benítez 2010, Bárbaro y Karlanian 2012).

En función de maximizar el éxito de plantación, es importante evaluar los efectos de dosis nutricionales diferenciales sobre la calidad final de las plantas obtenidas (en sentido amplio del término) y la probabilidad de supervivencia de estas a campo. El ajuste de las dosis y tipos de fertilizante, particularmente en la fase de rustificación, es probablemente uno de los procedimientos más importantes a seguir dentro de la técnica de fertirrigación. El objetivo de la fase de rustificación es preparar a las plantas para el estrés de transporte, almacenaje y plantación por medio de la limitación del crecimiento en altura de la planta, estimulándose el crecimiento secundario del tallo y de las raíces. Para ello, se limita la aplicación de nitrógeno y fósforo, y se aumenta la de potasio (Jacobs y Landis 2008).

Las tareas de reforestación o enriquecimiento realizadas en los últimos años en la Patagonia involucran especies nativas, por lo cual es necesario el contar con una reserva de plantas adecuada (Peri 2003). Entre las especies nativas involucradas se destaca el raulí (*Nothofagus alpina* Poepp. *et* Endl. Oerst.) por su gran potencialidad productiva. Adicionalmente, la Ley Nacional 26.331 de reciente aplicación efectiva en Argentina brinda oportunidades de financiamiento para el manejo sustentable en áreas de bosques, incluyendo la intervención activa por medio de la plantación, e impulsando de este modo una demanda creciente de plantas nativas de calidad.

El objetivo de este trabajo es evaluar la aptitud biológica del uso del compost de biosólidos producido regionalmente como sustrato alternativo para la producción de plantas de *Nothofagus alpina* en contenedores (bandejas multicelda), mediante la utilización de la técnica de fertirrigación. Se hipotetizó que: i) los compost de biosólidos pueden ser utilizados para la producción de especies nativas como *N. alpina*, constituyendo un sustrato alternativo a la turba y, ii) la aplicación de una dosis extra de potasio en la fase de rustificación mejora la calidad de la planta producida, evaluada por atributos morfológicos y fisiológicos.

MÉTODOS

Diseño experimental. En marzo de 2009 se cosechó semilla de *N. alpina* en el Parque Nacional Lanín, Argentina (paraje Yuco Alto: 40° 07' S, 71° 34' O). Luego de un tratamiento pregerminativo de sumersión en agua corriente por 10 días, se realizó la siembra a mediados del mes de septiembre de 2009 en almácigos, y luego de unos 15 días se realizó el repique a bandejas multicelda. Esta producción de plantas se llevó a cabo en un invernáculo del vivero de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Bariloche (41° 08' S, 71° 17' O), utilizando la técnica de fertirrigación, adoptada en los últimos años por los viveros de la región. La dieta usada fue descrita por Azpilicueta *et al.* (2010) (cuadro 1).

Se utilizaron dos sustratos: una mezcla 1:1 (v/v) de compost de biosólidos y pumicita, denominada de aquí en adelante "compost de biosólidos" (CB), y un sustrato estándar

Cuadro 1. Dosis y frecuencia de aplicación de fertilizantes durante las diferentes fases del ciclo de fertirriego para plantas bajo dosis estándar (tomada de Azpilicueta *et al.* 2010). Particularmente para las plantas bajo el tratamiento “extra” en etapa de rustificación, al valor de tabla deben sumársele 50 mg L⁻¹ de KH₂PO₄ en una segunda aplicación semanal.

Doses and application frequency of the different nutrients during the fertigation cycle for plants under the standard dose (Azpilicueta *et al.* 2010). For seedlings under the plus fertigation dose a plus of 50 mg L⁻¹ of KH₂PO₄ was added during the hardening phase in a second application every week.

Fase	Duración de la fase (días)	Fertilizante	Concentración (g L ⁻¹)	Frecuencia de aplicación (veces por semana)
Establecimiento 1	30	NPK 11-46-16	0,14	2
		KH ₂ PO ₄	0,10	
		CaNO ₃	0,20	1
		Micronutrientes	0,01	
Establecimiento 2	15	NPK 11-46-16	0,44	2
		KH ₂ PO ₄	0,20	
		CaNO ₃	0,20	1
		Micronutrientes	0,01	
Crecimiento rápido 1	15	NPK 18-7-17	0,17	2
		CaNO ₃	0,10	1
		Micronutrientes	0,01	
Crecimiento rápido 2	15	NPK 18-7-17	0,28	2
		CaNO ₃	0,10	1
		Micronutrientes	0,01	
Crecimiento rápido 3	45	NPK 18-7-17	0,56	2
		CaNO ₃	0,10	1
		Micronutrientes	0,01	
Rustificación 1	30	NPK 4-27-38	0,11	2
		KH ₂ PO ₄	0,055	
		CaNO ₃	0,155	1
		Micronutrientes	0,01	
Rustificación 2	15	NPK 4-27-38	0,225	2
		KH ₂ PO ₄	0,12	
		CaNO ₃	0,155	1
		Micronutrientes	0,01	
Rustificación 3	30	NPK 4-27-38	0,225	1
		KH ₂ PO ₄	0,12	
		CaNO ₃	0,155	1
		Micronutrientes	0,01	

dar/tradicional compuesto por una mezcla 1:1 (v/v) de turba y pumicita, denominada de aquí en adelante “testigo” (T). Se utilizó turba rubia originaria de Tierra del Fuego (marca comercial Simonetta S.R.L.), mientras que la pumicita utilizada fue extraída de canteras próximas al lugar de producción de las plantas. La misma no se tamizó y sus características granulométricas corresponden a una arena muy fina. El compost de biosólidos utilizado en el ensayo fue el generado por la planta de compostaje de la ciudad de San Carlos de Bariloche. El mismo se produce mediante la mezcla de los biosólidos con viruta y residuos de poda utilizados como agentes estructurantes (Mazzarino y Laos 2000).

En el cuadro 2 se resumen las principales propiedades químicas de dicho material caracterizado en el estudio de Mazzarino *et al.* (2012).

Se utilizaron bandejas de 28 celdas de 265 cm³ cada una, y cada bandeja representó una repetición: 2 tipos de sustrato x 8 bandejas (repeticiones) x 28 plantas (unidad experimental). Las bandejas se dispusieron según un diseño completamente aleatorizado, sobre mesada de alambre para asegurar la auto-poda de las raíces. Las condiciones de humedad (microaspersión) y temperatura (18-22 °C) fueron similares a las empleadas en la producción comercial que se realiza en el mismo invernáculo.

Cuadro 2. Rangos de variación de las características químicas del compost de biosólidos de la planta de Bariloche (tamizados por 0,5 cm). Datos adaptados de Mazzarino *et al.* (2012).

Ranges of variation of the chemical characteristics of the biosolids compost produced in Bariloche plant (filtered by 0.5 cm). Data adapted from Mazzarino *et al.* (2012).

Variable	Rango
pH	6,5 - 6,7
Conductividad eléctrica	1,2 - 2,4 dS m ⁻¹
Carbono orgánico	23 - 27 %
Nitrógeno	1,4 - 1,9 %
Calcio	1,4 - 1,7 %
Potasio	0,3 - 1,0 %
Magnesio	0,6 - 0,8 %
Fósforo	1,3 - 1,4 %
Fósforo extraíble	1,3 - 1,8 g kg ⁻¹

A principios del mes de abril, durante la fase de rusticación se aplicó una variación de la dieta sobre la mitad de las repeticiones de cada tratamiento: mientras que se mantuvo una dosis estándar (S) en cuatro repeticiones, en las restantes cuatro se aplicó una dosis denominada de aquí en adelante como “extra” (K), y que correspondió a un suplemento adicional de 50 mg L⁻¹ de potasio (cuadro 1). Para ello, la mitad de bandejas de cada uno de los tipos de sustrato (4 bandejas, 112 plantas por tipo de sustrato) fueron regadas con la dosis “extra” tres veces por semana mediante la utilización de regadera, llevándoselas a saturación.

Variables morfológico-alométricas, fisiológicas y químicas registradas. Como indicadores del efecto de los distintos tratamientos, se monitorearon variables morfológicas, fisiológicas y físico-químicas de las plantas. Dentro de las morfológicas se midió altura total con cinta métrica y diámetro a la base del tallo con calibre digital, en forma repetida desde el mes de enero hasta el mes de marzo (etapa de crecimiento) y al finalizar la etapa de rusticación en el mes de mayo. La altura total se midió en las siguientes fechas 25-01-2010, 23-02-2010, 30-03-2010 y 14-05-2010, y el diámetro en las mismas fechas, exceptuando la del 30-03-2010.

Se midió la tasa de conductancia estomática (gs: mol H₂O m⁻² s⁻¹) como indicador indirecto de la capacidad fotosintética de las plantas (Varela 2010). Para ello, en cinco fechas a lo largo de la temporada de crecimiento (26-01-2010, 09-02-2010, 23-02-2010, 03-10-2010 y 08-04-2010), se realizaron mediciones utilizando un porómetro EGM-4 (PP Systems) en horas de la mañana-mediodía (09:00 AM a 13:00 PM).

Previo a la aplicación de la dosis “extra” de fertilización, se midieron los contenidos de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y fósforo en tejido foliar y carbono orgánico

en las plantas producidas bajo los dos tipos de sustrato de los tratamientos iniciales (testigo y compost de biosólidos). Al finalizar el ensayo, se midieron nuevamente los contenidos de nitrógeno, potasio y calcio en tejido foliar de las plantas de los cuatro tratamientos establecidos (testigo con dosis estándar de fertilización, testigo con dosis “extra” de fertilización, compost de biosólidos con dosis estándar de fertilización y compost de biosólidos con dosis “extra” de fertilización). En todos los casos para los análisis foliares se utilizaron tres muestras compuestas de cinco plantas por tratamiento.

Las concentraciones de fósforo, calcio, magnesio y potasio en tejido foliar se determinaron por combustión seca a 550 °C y extracción con ácido clorhídrico y posterior determinación por el método molibdato-ácido ascórbico en el caso del fósforo y espectrometría de absorción atómica (Analist 100, Perkin Elmer Waltham) en el caso de los cationes. El nitrógeno total se determinó por la técnica de semi-micro Kjeldahl (Auto Kjeldahl Unit K-370, Büchi). Las muestras de sustrato fueron tamizadas por malla de 0,5 cm y se determinó materia orgánica por combustión seca a 550 °C, determinándose el contenido de carbono orgánico mediante la división del contenido de materia orgánica por 1,72. Las metodologías utilizadas corresponden a las descritas por Richards (1993). Los análisis antes mencionados se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Bariloche.

Finalizado el ensayo, las plantas fueron descalzadas, se limpiaron las raíces cuidadosamente con agua corriente y se midieron las biomásas secas de tallo y raíz (luego del secado hasta peso constante a 60 °C durante 48 horas). Se calculó la relación biomasa de tallo/biomasa de raíz. La altura total y el diámetro del tallo fueron utilizados para calcular del índice de esbeltez (IE) de Schmidt-Vogt (Schmidt-Vogt 1980), mediante la ecuación 1:

$$IE = \frac{\text{Diámetro tallo (mm)}}{\frac{\text{Altura tallo (cm)}}{10} + 2} \quad [1]$$

Análisis estadístico. Con el propósito de poner a prueba el efecto de los diferentes tipos de sustrato (compost de biosólidos vs testigo) sobre las variables altura total, diámetro a la base del tallo y conductancia estomática de las plantas, se llevó a cabo un análisis de la variancia (ANDEVA) a una vía considerando como factor fijo el tipo de sustrato con dos niveles. En aquellos casos en que las variables no cumplieron los supuestos de normalidad se utilizaron transformaciones (detalladas en cada caso) o pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis. Para poner a prueba también el efecto de la aplicación de la dosis de fertilización “extra” sobre las variables que fueron registradas luego de su aplicación se realizó un ANDEVA de dos vías, cuya expresión simbólica corresponde a la ecuación 2:

$$y_{ijk} = \mu + Sust_i + Fert_j + (Sust * Fert)_{ij} + e_{ijk} \quad [2]$$

donde y_{ijk} es el valor de la variable de respuesta para el promedio de las plantas de la repetición k -ésima bajo el i -ésimo tipo de sustrato y la j -ésima dosis de fertilización; μ es el valor de la media general para la variable de respuesta. $Sust_i$ es el efecto del i -ésimo nivel de tipo de sustrato (T o CB), $Fert_j$ es el efecto del j -ésimo nivel de dosis de fertilización (S o K), $(Sust * Fert)_{ij}$ es el efecto de interacción entre ambos factores y e_{ijk} es el error experimental con distribución normal y varianza δ^2 .

Para cumplir con los supuestos de normalidad, linealidad y homocedasticidad se realizó la transformación de las variables en aquellos casos en los que fue necesario. En todos los casos se utilizó un α de 0,05.

RESULTADOS

Previo a la etapa de rustificación, las plantas en compost de biosólidos presentaron en todas las fechas de medición valores significativamente mayores de altura total (25-01-2010, 23-02-2010 y 30-03-2010 en todos los casos: $P \leq 0,001$) y diámetro a la base del tallo (25-01-2010: $P \leq 0,001$; 23-02-2010: $P = 0,0110$) en comparación a las plantas en sustrato testigo (figura 1). Al considerar dichas variables, luego de la aplicación diferencial de nutrientes, las plantas producidas con compost de biosólidos y con

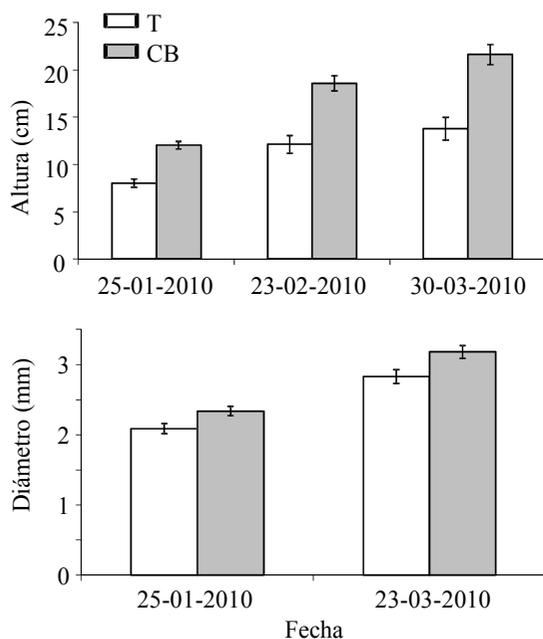


Figura 1. Valores medios (\pm e. s.) de la altura total de planta y el diámetro en la base del tallo de las plantas bajo los tratamientos de sustrato testigo (T) y de compost de biosólidos (CB). Las fechas de medición son previas a la aplicación de la dosis diferencial de fertilización.

Mean values (\pm s. e.) of A) total seedling height and B) diameter at the stem base of seedlings in the 50 % peat + 50 % pumice treatment (T) and 50 % biosolids compost + 50 % pumice (CB), before a differential application of potassium.

dosis estándar de fertilización (CB-S) presentaron valores significativamente mayores de altura total ($P = 0,0018$) que las plantas producidas con el sustrato testigo y la dosis estándar de fertilización (T-S). Dentro de cada tipo de sustrato, cuando se aplicó la dosis “extra” de fertilización la altura de las plantas fue mayor que con la dosis estándar ($P = 0,0048$; cuadro 3), sin evidenciarse un efecto de interacción entre los factores considerados. El diámetro a la base del tallo, independientemente del sustrato considerado y la aplicación diferencial de nutrientes presentó similares valores en todas las plantas (cuadro 3), sin registrarse un efecto de interacción entre ambos factores.

En relación a la biomasa de raíces a la finalización del ensayo, se registró un efecto de interacción entre el tipo de sustrato utilizado y la dosis de fertilización empleada ($P = 0,0384$ de la variable original transformada por raíz cuadrada). El valor medio máximo de dicha variable fue aquel registrado para el tratamiento de compost de biosólidos con dosis estándar de fertilización. Para la variable biomasa de tallo, los valores bajo los diferentes tipos de sustrato y dosis nutricionales fueron similares y no se registró interacción entre factores (cuadro 3). En el caso de la relación biomasa de tallo/biomasa de raíz (cuadro 3) se detectaron efectos tanto del tipo de sustrato utilizado así como de la dosis de fertilización empleada, sin evidenciarse interacción entre factores. Los mayores valores medios de esta relación se observaron en el tratamiento compost de biosólidos con dosis “extra” (cuadro 3).

Los valores del índice de esbeltez de Schmidt-Vogt variaron entre 1,25 y 1,29 y no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ni interacción entre factores (tipos de sustrato y dosis de fertilización) (cuadro 3).

Los valores de conductancia estomática (figura 2) tampoco presentaron diferencias significativas entre tratamientos en las fechas analizadas, exceptuando la primera fecha a comienzos de la temporada de crecimiento (26-02-2010), en la cual se encontraron mayores valores para plantas con compost de biosólidos en comparación con plantas con sustrato testigo (los valores de conductancia estomática de la fecha 08-04-2010 fueron transformados por su coseno para cumplir los supuestos del modelo de ANDEVA a dos vías).

En función de la caracterización química inicial de las hojas (previa a la aplicación de las dosis diferenciales de fertilización), pudo verse que las plantas con sustrato testigo presentaron mayores porcentajes de potasio total ($P = 0,0026$), similares valores de nitrógeno, fósforo y magnesio, y valores menores de calcio ($P = 0,0209$) en comparación a las plantas con compost de biosólidos como sustrato (figura 3). Los valores de carbono orgánico medidos en plantas bajo ambos tipos de sustrato fueron similares (45,1 y 45,4 % para plantas con CB y T respectivamente; $P = 0,2627$). Finalizada la fase de crecimiento, las plantas producidas bajo los diferentes tipos de sustrato y dosis nutricionales presentaron valores similares entre sí ($P > 0,05$ de nitrógeno, calcio y potasio (2,2-2,6 %; 0,86-1,12 % y 1,56-1,71 %, respectivamente).

Cuadro 3. Valores medios (\pm d. s.) al finalizar el ensayo de diámetro a la base del tallo, altura total de las plantas, biomasa de raíces, biomasa de tallo, relación biomasa tallo: biomasa raíz, índice de esbeltez de Schmidt-Vogt (IE) y valores de probabilidad (P para los factores tipo de sustrato = *sust.*; dosis de fertilización = *fert.*, e interacción entre factores = *int.*) del ANDEVA a dos vías bajo los tratamientos con sustrato testigo (T) y compost de biosólidos (CB), con las dosis estándar (-S) y extra de fertilización (-K).

Mean values (\pm s. d.) at the end of the essay of diameter at stem base, total plant height, root biomass, stem biomass, root:shoot relationship, Schmidt-Vogt index (IE) and probability values (substrate type = *sust.*; fertilization dose = *fert.* and interaction between factors = *int.*) of the two ways ANOVA under different treatments (T = control substrate; CB = biosolids compost substrate; -S = standard fertilization dose; -K = potassium plus fertilization dose).

Variable	T-S	T-K	CB-S	CB-K	$P_{sust.}$	$P_{fert.}$	$P_{int.}$
Diámetro (mm)	3,0 \pm 1,2	3,2 \pm 0,9	3,3 \pm 0,9	3,4 \pm 1,0	0,0970	0,3810	0,8570
Altura (cm)	15,2 \pm 1,33	18,7 \pm 1,23	19,1 \pm 1,31	22,7 \pm 1,13	0,0018	0,0048	0,9850
Biomasa tallo (g)	0,67 \pm 0,50	0,98 \pm 0,72	1,02 \pm 0,63	0,98 \pm 0,62	0,0605	0,1442	0,0587
Biomasa raíz (g)	0,85 \pm 0,61	0,91 \pm 0,52	1,21 \pm 0,72	0,88 \pm 0,48	0,0535	0,2942	0,0384
Tallo/raíz	0,79 \pm 0,22	1,06 \pm 0,41	0,87 \pm 0,21	1,08 \pm 0,26	0,0117	< 0,0001	0,5730
IE	1,25 \pm 0,32	1,25 \pm 0,22	1,22 \pm 0,23	1,29 \pm 0,19	0,8700	0,2830	0,3150

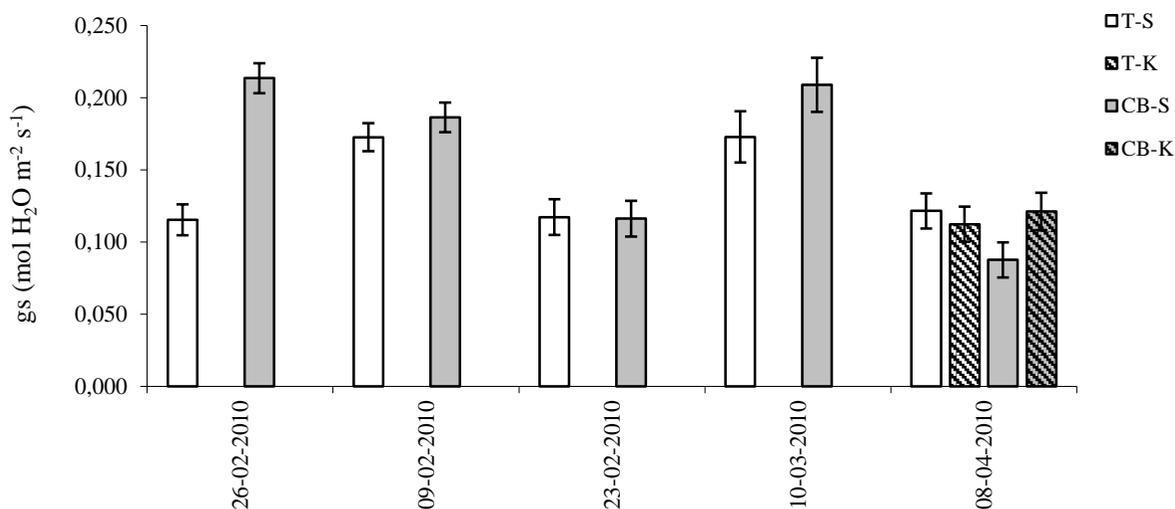


Figura 2. Valores medios (\pm e. s.) de conductancia estomática (gs) de las plantas bajo el tratamiento de sustrato testigo (T) y compost de biosólidos (CB) bajo las dosis estándar (-S) y “extra” (-K) de fertilización a lo largo de las sucesivas fechas de muestreo. Los valores de gs del 08-04-2010 se transformaron utilizando su coseno para cumplimentar con los supuestos del modelo de ANDEVA.

Mean values (\pm s. e.) of stomatal conductance (gs) in seedlings in the peat + pumice treatment (T) and biosolids compost + pumice treatment (CB) under standard nutritional dose (-S) and plus nutritional dose (-K) along successive sampling dates. Values of gs at 08-04-2010 were transformed using cosine in order to fulfill two-way ANOVA assumptions model.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Coincidiendo con estudios previos en otras especies nativas de la región (Basil *et al.* 2009), el uso de compost de biosólidos resultó adecuado para el desarrollo de las plantas de *N. alpina* evidenciándose esto en crecimientos similares, o aún mayores (mayor altura de las plantas durante la etapa de crecimiento y la biomasa de raíces resultó mayor solo sin la aplicación de la dosis extra de potasio), que los de plantas desarrolladas en el sustrato testigo (turba). Un aspecto importante de los resultados obtenidos en el presente trabajo es que desde el inicio y hasta mediados de la temporada de producción, el crecimiento en altura y

diámetro de las plantas con compost de biosólidos como sustrato fue mayor. Posteriormente a estas fechas los valores de diámetro a la base del tallo de los distintos tratamientos se equilibraron, pero los valores de altura de las plantas en el tratamiento con compost de biosólidos y dosis “extra” de fertilización con potasio fueron mayores que en el tratamiento con sustrato testigo y fertilización estándar. Esto indicaría la factibilidad de acortamiento del ciclo de producción con la utilización de este tipo de sustrato (de manera similar a lo sugerido por Basil *et al.* 2009 y Namiot *et al.* 2012). Por otro lado, el compost de biosólidos fertilizado con la dosis “extra” de potasio estimuló el crecimiento en altura, pero no aumentó el diámetro, que

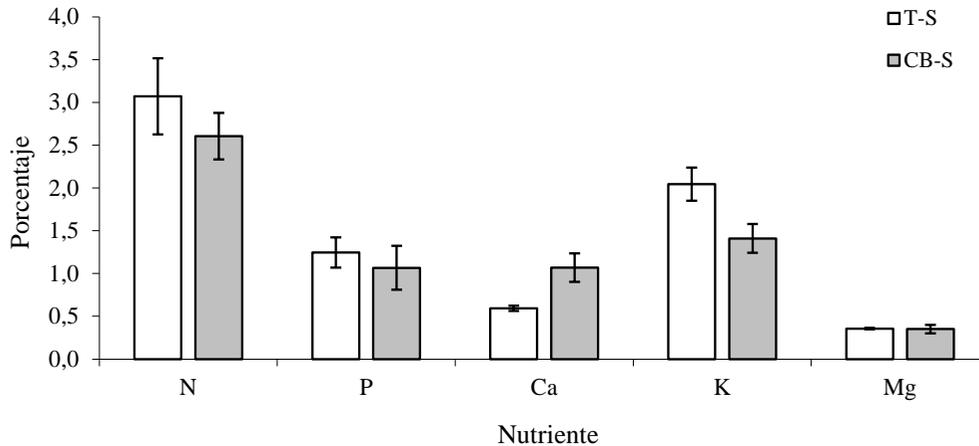


Figura 3. Porcentajes (\pm d. s.) de nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), potasio (K) y magnesio (Mg) en hojas de las plantas bajo el tratamiento de sustrato testigo (T) y compost de biosólidos (CB) previo a la etapa de rustificación.

Average values (\pm s. d.) of nitrogen (N), phosphorus (P), calcium (Ca), potassium (K) and magnesium (Mg) in leaves of seedlings in the peat + pumice treatment (T) and biosolids compost + pumice treatment (CB) before a differential application of potassium (hardening phase).

era uno de los efectos esperados del agregado de potasio (coincidiendo con lo planteado por Namiot *et al.* (2012), para *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Ser. *et* Bizzarri con este mismo tipo de sustrato). Respecto a la biomasa de raíces se observó un claro efecto del sustrato cuando no se aplicó la dosis extra de potasio, con mayores valores en el tratamiento con compost de biosólidos. Sin embargo, la interacción entre los dos tratamientos indica un efecto contrario cuando se aplica la dosis extra de potasio. Es posible que el compost de biosólidos tenga un efecto positivo sobre la capacidad de exploración de raíces (por ejemplo, mayor porosidad de sustrato) o sobre el suministro hídrico y, así, sobre la producción de raíces. Pero a su vez este efecto podría ser modulado con el agregado de nutrientes específicos en determinadas etapas de desarrollo de las plantas. Estos resultados podrían indicar que mediante la utilización de distintos tipos de sustratos alternativos y dosis nutricionales diferenciales pueden producirse plantas “sitio-específicas” (que se aclimaten mejor a una determinada condición ambiental), por medio de la modificación de la asignación de biomasa a distintos órganos (ejemplo: raíces) o de la fisonomía de la planta (ejemplo: plantas de mayor altura). Adicionalmente, este punto denota la importancia de establecer requerimientos mínimos de calidad de planta a producir regionalmente, algo no explicitado hasta la fecha (Rovere 2006). De acuerdo a los objetivos de rustificación (limitación del crecimiento en altura y estimulación del crecimiento secundario del tallo y las raíces), el agregado de una fertilización plus de potasio no cumplió los objetivos, siendo necesarias mayores investigaciones en este aspecto para especies nativas patagónicas.

La relación biomasa de tallo/biomasa de raíz es una variable morfológica comúnmente utilizada para la evaluación de plantas (Bernier *et al.* 1995). Mexal y Landis (1990) reportan que esta relación debe ser mayor o igual a

0,40, equivalente a una relación 1:2,5. Ahora bien, distintas especies presentan grandes diferencias en esta relación al ser producidas en vivero (Murias 1998). Por ejemplo, los individuos de *Quercus spp.* tienden a mostrar valores inferiores a 0,8; los de *Pinus spp.* suelen ser mayores a 1 y los de *Arbutus unedo* o *Atriplex spp.* mayores de 2 (Maldonado Benítez 2010). Dicha variación sugiere que no existe una relación universal asociada con un óptimo desarrollo, sino que cada especie puede expresar un valor dentro de un rango que le es característico. Más aún, los valores óptimos para una especie pueden diferir entre las plantas cultivadas a raíz desnuda y las producidas en contenedor (Romero *et al.* 1986), pudiendo determinar su comportamiento a campo. Aunque un fuerte desequilibrio a favor de la parte aérea puede mermar el desarrollo de las plantas a campo, una elevada proporción de sistema radical tampoco garantiza mejor desarrollo en campo. Este hecho también ocurre en *Quercus ilex* L., donde valores bajos de la relación tallo/raíz pueden asociarse con menor crecimiento y mayor mortandad post-plantación (Villar Salvador 2003). El fundamento para el uso de este atributo es derivado de una perspectiva de balance hídrico, es decir, cierta cantidad de área foliar necesita cierta cantidad de raíces para obtener agua del suelo y así compensar la transpiración. Sitios particularmente secos o con condiciones de alta evaporación no son aptos para plantas que presenten una relación alta de biomasa aérea/biomasa radicular, ya que estas serían susceptibles al estrés hídrico. Un valor bajo de dicha relación indica que las raíces son abundantes respecto al área foliar y la planta tiene un alto potencial para evitar el estrés hídrico. En el presente trabajo, independientemente del tipo de sustrato y la dosis de fertilización, los valores de esta variable estuvieron en el rango de 0,79 a 1,08 encontrándose dentro de los caracterizados como “óptimos” para la producción de plantas en

contenedor (Maldonado Benítez 2010). Esto indica que el equilibrio funcional entre ambas partes no fue alterado por el uso de compost de biosólidos respecto a la producción habitual en el suelo local, al igual que lo encontrado por Basil *et al.* (2009) para el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*). Los mayores valores de relación biomasa de tallo/biomasa de raíz en plantas bajo ambos tipos de sustrato con la dosis de fertilización “extra” pudo deberse a que en dicha dosis se agregó únicamente potasio. Este nutriente activa más de ochenta enzimas que participan en el crecimiento de las plantas. Adicionalmente estimula el crecimiento secundario, fortaleciendo los tallos y promoviendo un mayor incremento en altura. Si bien no existieron en el presente estudio diferencias significativas entre los valores de diámetro en la base del tallo de plantas con fertilización estándar y “extra” sí pudo observarse una leve tendencia a mayores valores en el segundo grupo de plantas al final del ciclo de producción (cuadro 3). Nuevamente este punto destaca la importancia de la continuación de estudios en esta temática que permitan obtener la mejor calidad de planta en función de las condiciones del sitio destino de plantación.

En el caso del índice de esbeltez determinado según lo propuesto por Schmidt-Vogt (1980), se deduce de la fórmula que los valores altos, son indicativos de plantas más robustas y con menor probabilidad de daño en el trasplante. En el presente trabajo se observó que la utilización del sustrato alternativo con compost de biosólidos no tuvo un efecto detrimental sobre dicha variable, habilitando, por lo tanto, el uso de ese sustrato.

En relación al contenido foliar de nutrientes, valores altos de calcio podrían indicar mayor lignificación en nervaduras y cutícula más gruesa en plantas con compost de biosólidos como sustrato, pudiendo tener estas hojas menores tasas de transpiración¹ o incluso la potencialidad de mantener tasas de conductancia estomática mayores, debido a una menor pérdida de agua a través de la cutícula. Esto podría explicar las diferencias en las tasas de conductancia estomática registradas en la primer fecha de medición (26-02-2010, figura 2). Por otro lado, valores altos de potasio podrían indicar mayor control de la transpiración por regulación estomática siempre y cuando no se genere antagonismo con magnesio. Si bien en la primera fecha de registro de la temporada se observaron diferencias entre tratamientos en las concentraciones de ambos nutrientes en hojas, al finalizar la temporada todos los nutrientes foliares habían alcanzado valores similares; el hecho de que los valores de conductancia estomática luego de la primera fecha de registro hayan sido también similares, indicaría que la potencialidad fotosintética de ambos grupos de plantas fue similar (según la relación entre fotosíntesis y conductancia estomática planteada por Varela (2010) para esta especie). Cabe aclarar que la interpretación de los análisis foliares se

basa en la comparación de las concentraciones obtenidas respecto a valores críticos establecidos para las diferentes especies, y en la región todavía se dispone de muy pocos datos para poder asegurar niveles óptimos de nutrición de las arbóreas nativas (Namiot *et al.* 2012).

En conclusión, el uso de compost de biosólidos en la producción de plantas de *N. alpina* es una alternativa a ser considerada para la actividad productiva en viveros, ya que es un sustrato de bajo costo (cuatro veces menos que el sustrato de turba tradicional) y sin limitaciones de explotación, contrariamente a lo que ocurre con la turba y la tierra negra (humus). Otra característica a resaltar es que de esta forma podría promoverse el reciclaje de residuos orgánicos que de otra manera impactan el ambiente o aumentan los costos de disposición final (Mazzarino y Laos 2000). No obstante, antes de fomentar la utilización de biosólidos en la formulación de sustratos, sería conveniente desarrollar comparaciones con otros tipos de materiales que pudieran tener un efecto superador y, principalmente, establecer ensayos a campo para comprobar el efecto en la supervivencia de las plantas bajo las condiciones ambientales de la región. Dichos tipos de análisis deberían adicionalmente contemplar un balance de tipo económico. A su vez, cabe recomendar el estudio combinado con variaciones en las dosis de fertirrigación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a María Marta Azpilicueta, Paula Diehl y Alejandro Martínez Meier por la lectura y revisión de las versiones previas del presente artículo y a Teresa Schinelli Casares por los aportes realizados en relación a nutrientes en hojas. Este estudio fue solventado por el proyecto PNFOR 4232, INTA, Argentina.

REFERENCIAS

- Abad M, P Noguera, S Burés. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197-200.
- Azpilicueta MM, S Varela, A Martínez, L Gallo 2010. Manual de viverización, cultivo y plantación de Roble Pellín en el norte de la región Andino Patagónica. Bariloche, Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Bariloche. Ediciones INTA. 72 p.
- Bárbaro LA, MA Karlanian. 2012. Uso del compost en la formulación de sustratos de plantas. In Mazzarino M, P Satti eds. *Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso*. Buenos Aires, Argentina. Orientación Gráfica Editora. 349 p.
- Basil G, MJ Mazzarino, L Roselli, F Letourneau. 2009. Efecto del compost de biosólidos en la producción de plantines de *Austrocedrus chilensis* (ciprés de la cordillera). *Ciencia del Suelo* 27: 49-55.
- Bernier PY, MS Lamhamedi, DG Simpson. 1995. Shoot: root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. *Tree Planters' Notes* 46:102-106.

¹ Teresa Schinelli Casares, Técnica Universitaria Forestal, INTA EEA Trevelin, especialista en fertilidad de suelos. Comunicación personal.

- Fitzpatrick GE. 2001. Compost utilization in ornamental and nursery crop production systems. In Stoffella PJ, BA Kahn eds. Compost utilization in horticultural cropping systems. Boca Raton, Florida, USA. Lewis Publishers. p. 135-150.
- Hartmann H, D Kester. 2002. Plant propagation. Principles and practices. New Jersey, USA. Prentice Hall. 880 p.
- Jacobs T, T Landis. 2008. Fertilization. In Dumroese RK, T Luna, T Landis eds. Nursery Manual for Native Plants. A guide for Tribal Nurseries. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook 730. USDA. 302 p.
- Maldonado Benítez KR. 2010. Sustratos alternativos para la producción de *Pinus greggii* Engelm. en vivero. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Instituto de enseñanza e investigación en Ciencias Agrícolas. Campus Montecillo Forestal. Montecillo Texcoco, México DF, México. Colegio de Postgraduados. 115 p.
- Martínez A, T Schinelli. 2009. Viverización de especies forestales nativas de nuestra región: Los *Nothofagus* caducifolios. Parte I: Cosecha y procesamiento de semillas. *Presencia* XX (53): 36-41.
- Mazzarino MJ, F Laos. 2000. Composting biosolids in Patagonia. *BioCycle* 41: 83-85.
- Mazzarino M, P Satti, L Roselli. 2012. Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. In Mazzarino M, P Satti eds. Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso. Buenos Aires, Argentina. Orientación Gráfica Editora. 349 p.
- Mexal JG, T Landis. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In Rose R, SJ Campbell, T Landis eds. Target Seedling Symposium: Proceedings Combined Meeting of the Western Forestry Nursery Associations. Oregon, USA. USDA Forest Service. p. 17-35.
- Mollitor HD, A Faber, R Marutzky, S Springer. 2004. Peat substitutes on the basis of recycled wood chipboard. *Acta Horticulturae* 644: 123-130.
- Murias G. 1998. Estudio de plantas de diferentes especies mediterráneas forestales en vivero. Arquitectura radical, potencial de regeneración de raíces y análisis de nutrientes. Proyecto de Fin de Carrera, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal de Madrid. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. 40 p.
- Namiot G, G Basil, MD Errasti. 2012. Producción de plantines de arbóreas nativas. Experiencias con ciprés de la cordillera. In Mazzarino MJ, P Satti eds. Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso. Buenos Aires, Argentina. Orientación Gráfica Editora. 349 p.
- Ostos JC, R López-Garrido, JM Murillo, R López. 2008. Substitution of peat for municipal solid waste- and sewage sludge-based compost in nursery growing media: Effects on growth and nutrition of the native shrub *Pistacia lentiscus* L. *Bioresource Technology* 99: 1793-1800.
- Peri P. 2003. Planificación de uso del bosque nativo de *Nothofagus* perteneciente al ejido de la Municipalidad de Río Turbio. Río Turbio, Argentina. Municipalidad de Río Turbio. 40 p.
- Richards JE. 1993. Chemical characterization of plant tissue. In Carter MR ed. Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Boca Raton, Florida, USA. Lewis Publishers. p. 115-139.
- Romero AE, J Ryder, JT Fisher, JG Mexal. 1986. Root system modification of container stock for arid land plantation. *Forest Ecology and Management* 16: 281-290.
- Rovere AE. 2006. Cultivo de Plantas Nativas Patagónicas: árboles y arbustos. Ciudad, País. Editorial Caleuche. 64 p.
- Schmidt-Vogt H. 1980. Characterization of plant material. In Röhring E, HA Gussone eds. Waldbau. Zweiter Band. Sechste Auflage, Neubearbeitet. Hamburg and Berlin, Germany. Verlag Paul Parey. 314 p.
- Varela S. 2010. Respuestas morfológico-fisiológicas ante distintos tipos e intensidades de estrés en dos especies patagónicas del género *Nothofagus* con aptitud comercial. Tesis de Magíster. Buenos Aires, Argentina. Área de Recursos Naturales, Universidad de Buenos Aires. 157 p.
- Villar Salvador P. 2003. Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación. In Rey-Benayas JM, T Espigares Pinilla, JM Nicolau Ibarra eds. Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos. Universidad de Alcalá Asociación Española de Ecología Terrestre. p. 65-86.
- Zubillaga MS, RS Lavado. 2001. Biosolids compost as component of potting media for bedding plants. *Gartenbauwissenschaft* 66: 304-309.

Recibido: 01.03.13

Aceptado: 14.09.13

