

EFFECTO DE LA COMBINACIÓN DE TÉCNICAS DE ESTABLECIMIENTO SOBRE EL CRECIMIENTO INICIAL DE *Grevillea robusta* A. Cunn.

EFFECT OF ESTABLISHMENT TECHNIQUE COMBINATIONS ON INITIAL GROWTH OF *Grevillea robusta* A. Cunn.

Rodolfo A. Martiarena¹; Alejandra Von Wallis¹;
Roberto A. Fernández^{1,2}; Otto E. Knebel¹

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria Montecarlo. Av. El Libertador núm. 2472. C. P 3384. Montecarlo, Misiones, Argentina.

Correo-e: ramartiarena@montecarlo.inta.gov.ar; Tel.: (54) 3751 480057 / 512

(* Autor para correspondencia).

²Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones. km 3, Calle Bertoni núm. 124. C. P. 3380. El Dorado, Misiones, Argentina.

RESUMEN

El efecto de la combinación de técnicas de establecimiento se evaluó sobre el crecimiento inicial de *Grevillea robusta*, en el norte de la provincia de Corrientes, Argentina. Los tratamientos incluyeron la combinación de dos factores. El primero de ellos aplicado previo a la plantación de *G. robusta* y consistió en el manejo de residuos con dos niveles: a) conservación de residuos y b) quema de residuos. El segundo factor consistió en la aplicación de fertilizante con tres niveles: a) sin aplicación de fertilizante, b) aplicación de fertilizante luego del establecimiento de la plantación y, c) aplicación de fertilizante después de un año del establecimiento de la plantación. La combinación de técnicas de establecimiento de la plantación modificó el crecimiento inicial de *G. robusta*. La mejor combinación fue la quema de residuos con fertilización durante el establecimiento. Con dicha combinación, la plantación logró un incremento en diámetro de 43.7 % a los 36 meses de edad, siendo superior que el obtenido con el tratamiento de conservación de residuos sin aplicación de fertilizante.

PALABRAS CLAVE: Silvicultura, manejo forestal, fertilización, residuos forestales.

ABSTRACT

The effect of establishment technique combinations on initial growth of *Grevillea robusta* was evaluated in the northern area of the province of Corrientes, Argentina. The treatments included the combination of two factors. The first one was applied previous to planting *G. robusta* and consisted of slash management with two levels: a) slash conservation and, b) slash burning. The second factor consisted of fertilizer application with three levels: a) unfertilized, b) fertilized after plantation establishment and, c) fertilized a year after plantation establishment. The plantation establishment technique combinations changed the initial growth of *G. robusta*. The best combination was slash burning with fertilization during establishment. With this combination, the plantation achieved a 43.7 % increase in diameter at 36 months of age, which was superior to that obtained with the slash conservation with no fertilization treatment.

KEYWORDS: Silviculture, forest management, fertilization, slash.



Recibido: 13 de julio, 2012

Aceptado: 23 de septiembre, 2013

doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.07.046

<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

La provincia de Misiones cuenta aproximadamente con 365,000 ha forestadas con bosques de cultivo, de las cuales 344,000 corresponden a especies de rápido crecimiento de los géneros *Pinus* y *Eucalyptus* (Sistema de Información Foresto-Industrial Provincial [SIFIP], 2010). La superficie cultivada con otras especies, entre las que se incluye *Grevillea robusta* A. Cunn., es muy escasa. Esta especie es muy promisoría para la región mesopotámica Argentina, principalmente por los atributos de la madera ya que es fácilmente trabajable, presenta una apariencia atrayente por la presencia de los radios característicos y tiene un color pardo rosáceo que cambia a amarillo parduzco con la exposición (Zárate-Morales, Ordoñez-Candelaria, & Martínez-Castillo, 2001). La madera de *G. robusta* se utiliza en la confección de muebles, laminados y pisos (Pereira, Schaitza, & Baggio, 2000). Harwood y Booth (1992) citan que, con buenos suelos, *G. robusta* podría crecer 2 cm·año⁻¹ de DAP (diámetro a la altura del pecho) durante los primeros cinco años de edad; no obstante, en Misiones esos valores son superados en rodales de 152 plantas·ha⁻¹, alcanzando incrementos de 2.6 cm·año⁻¹ (Fassola et al., 2004; Lacorte et al., 2003).

El balance adecuado de macro y micronutrientes, desde el comienzo de la plantación, es uno de los factores esenciales para el crecimiento óptimo de la misma (Yamada, 2003). Por tanto, la fertilización es una de las prácticas de manejo más efectivas para obtener respuestas en el incremento de la productividad (Newton & Amponsah, 2006). En Misiones, la respuesta del crecimiento de las especies forestales al agregado de fósforo y potasio es positiva (Lupi et al., 2000; Martíarena, Von Wallis, Domec, Fernández, & Knebel, 2008). Probablemente este comportamiento se deba a la baja disponibilidad natural de dichos elementos en el suelo (Pérez, Goya, Bianchini, Frangi, & Fernández, 2006; Vázquez & Morales, 2000). Por el contrario, aunque las causas aún no se han determinado, la fertilización nitrogenada produce una respuesta negativa retrasando el crecimiento de las especies forestales cultivadas en suelos del orden Kandiuult (Martíarena et al., 2004).

Desde el punto de vista nutricional, las prácticas de mayor impacto durante el periodo de rotación del cultivo forestal son la cosecha y la preparación de terreno para el establecimiento de la nueva plantación (Martíarena, Von Wallis, & Knebel, 2009). La preparación de terreno incluye el laboreo, el manejo de residuos de cosecha que pueden superar los 45 Mg·ha⁻¹ (Martíarena, Von Wallis, Fernández, & Knebel 2007), y la eliminación de estos residuos por acción del fuego que puede afectar la calidad del suelo negativamente (Fox, 2000). No obstante, la quema incrementa temporalmente la disponibilidad de nutrientes y se puede lograr un efecto positivo sobre el crecimiento inicial de la plantación (Raison, 1979).

Las prácticas de establecimiento afectan el crecimiento de la plantación, ya sea positiva o negativamente. El efecto puede

INTRODUCTION

The province of Misiones has approximately 365,000 forested hectares with planted forests, out of which 344,000 contain fast-growing species of the genera *Pinus* and *Eucalyptus* (Provincial Forest Industry Information System [SIFIP, for its acronym in Spanish], 2010). The area cultivated with other species, including *Grevillea robusta* A. Cunn., is very limited. However, this species holds great promise for the Mesopotamia region of Argentina, mainly due to the attributes of its wood, which is easily workable, has an attractive appearance due to its characteristic rays, and has a pinkish brown color which changes to brownish yellow with exposure (Zárate-Morales, Ordóñez-Candelaria, & Martínez-Castillo, 2001). The wood of *G. robusta* is used in furniture building, veneers and floors (Pereira, Schaitza, & Baggio, 2000). Harwood and Booth (1992) state that, with good soils, *G. robusta* could grow 2 cm·year⁻¹ in DBH (diameter at breast height) in its first five years of age; nonetheless, in Misiones those values are surpassed in 152 plants·ha⁻¹ stands, reaching increases of 2.6 cm·year⁻¹ (Fassola et al., 2004; Lacorte et al., 2003).

The proper balance of macro and micronutrients from the start of the plantation is one of the essential factors for its optimal growth (Yamada, 2003). Thus, fertilization is one of the most effective management practices for obtaining increased productivity (Newton & Amponsah, 2006). In Misiones, the growth response of forest species to the addition of phosphorus and potassium is positive (Lupi et al., 2000; Martíarena, Von Wallis, Domec, Fernández, & Knebel, 2008). This behavior is probably due to the low natural availability of these elements in the soil (Pérez, Goya, Bianchini, Frangi, and Fernández, 2006; Vázquez & Morales, 2000). By contrast, although the causes have not yet been determined, nitrogen fertilization produces a negative response by retarding the growth of forest species grown in soils of the Kandiuult order (Martíarena et al., 2004).

Nutritionally, the practices with the greatest impact during the rotation period of the forest crop are harvesting and site preparation for the establishment of the new plantation (Martíarena, Von Wallis, & Knebel, 2009). Site preparation includes tillage, management of logging residues that can exceed 45 Mg·ha⁻¹ (Martíarena, Von Wallis, Fernández, & Knebel, 2007), and the elimination of this slash by fire action that may negatively affect soil quality (Fox, 2000). However, burning temporarily increases nutrient availability and can have a positive effect on initial plantation growth (Raison, 1979).

Establishment practices affect plantation growth, either positively or negatively, and the effect can last for a long time. For this reason, Snowdon (2002) identified two response types. Type 1 response results from the application of treatments that modify stand growth but do not change the inherent productivity of the site, that is, the response is

permanecer por un tiempo prolongado, por lo que Snowdon (2002) definió dos tipos de respuesta. La respuesta del tipo 1 resulta de la aplicación de tratamientos que modifican el crecimiento del rodal, pero no los cambios inherentes a la calidad de sitio; es decir, la respuesta sólo es observada en el periodo inicial y luego se diluye con el tiempo. La respuesta del tipo 2 se da en tratamientos que modifican las propiedades del sitio y la respuesta del crecimiento se mantiene a lo largo del tiempo. En tal contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento a los 12, 24 y 36 meses de edad de *G. robusta*, establecida con la combinación de manejo de residuos y fertilización, bajo la hipótesis de que la combinación de quema de residuos y fertilización durante el establecimiento mejora las condiciones del crecimiento inicial de la plantación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La experiencia se desarrolló en un campo de la empresa Danzer Forestaciones, situado en el norte de la provincia de Corrientes, Argentina (27° 36' 18" S y 55° 57' 15" O). El experimento se realizó en un ambiente donde el relieve es suave a ondulado, cuyo suelo se clasifica como Kandiuult (Soil Survey Staff, 2010). El clima es subtropical húmedo con precipitaciones que oscilan de 1,900 a 2,100 mm sin mostrar diferencias en su distribución a lo largo del año; temperatura media anual de 20 °C y amplitud térmica media anual de 11 °C. El sitio proviene de la tala rasa de una primera rotación de *Pinus* spp. de 20 años, realizada en el 2005. Luego de la cosecha, el sitio permaneció con los residuos forestales en la superficie por dos años, periodo durante el cual se instaló la regeneración natural de *Pinus* spp., con semillas del rodal precedente y de rodales vecinos.

Al comienzo del periodo invernal del año 2007, previo a la aplicación de los tratamientos de preparación de terreno, se realizó el muestreo de suelo para la determinación de las propiedades químicas y densidad aparente. El suelo fue muestreado cruzando diagonalmente el lote y extrayendo ocho muestras simples en los horizontes A (0-10 cm), AB (10-30 cm) y B (30-60 cm). Las muestras para la determinación de las propiedades químicas fueron tomadas con barreno, mientras que para la densidad aparente se aplicó el método del cilindro. Las ocho muestras simples conformaron una muestra compuesta, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 1. Posteriormente, se hizo el apeo de los árboles de la regeneración natural, dejándolos esparcidos en el terreno durante dos meses. Pasado este periodo, el muestreo de residuos se efectuó separando aquellos provenientes de los árboles de la regeneración de los que provenían de la tala rasa de la plantación adulta. En el Cuadro 2 se muestra la totalidad de residuos en el sitio. Las propiedades químicas se analizaron tanto en las muestras de suelo como en las de material vegetal. El contenido de nutrientes en el sitio se cuantificó previo a la instalación del ensayo (Cuadro 2).

only observed in the initial period and then fades over time. Type 2 response occurs in treatments that modify site properties and the growth response is maintained over time. In this context, the aim of this study was to evaluate growth of *G. robusta*, at 12, 24 and 36 months of age, established by combining slash management and fertilization, under the hypothesis that combining slash burning and fertilization during establishment improves the initial growth conditions of the plantation.

MATERIALS AND METHODS

Experimental site

The experiment was carried out in a Danzer Forestations company field, located in the northern part of the province of Corrientes, Argentina (27° 36' 18" S and 55° 57' 15" W). The experiment was conducted in an environment where the terrain ranges from smooth to undulated, and the soil is classified as Kandiuult (Soil Survey Staff, 2010). The climate is humid subtropical with rainfall ranging from 1,900 to 2,100 mm annually without showing any differences in its distribution throughout the year; the mean annual temperature is 20 °C and the mean annual temperature range is 11 °C. In 2005, clear-cut logging of a first rotation of 20-year-old *Pinus* spp. was performed at the site. After logging, the site was left with slash on the surface for two years, a period in which *Pinus* spp. regenerated naturally from seeds of the previous and neighboring stands.

At the beginning of the winter period of 2007, prior to the application of the site preparation treatments, soil sampling for determining chemical properties and bulk density was conducted. The soil was sampled by diagonally crossing the site and extracting eight individual samples in horizons A (0-10 cm), AB (10-30 cm) and B (30-60 cm). Samples for determining chemical properties were taken with a drill, while the cylinder method was applied for determining bulk density. The eight individual samples formed a composite sample, the results of which are shown in Table 1. Subsequently, the naturally-regenerated trees were felled and left scattered on the ground for two months. After this period, residue sampling was conducted by separating the residue from the regenerated trees from the slash of the clear-cut mature plantation. Table 2 shows the totality of the slash at the site. Chemical properties were analyzed in both the soil and plant matter samples. Nutrient content at the site was quantified prior to study installation (Table 2).

Experimental design

In September 2007, the site preparation treatments were applied under a complete block randomized design with a 2 x 3 factorial arrangement and three replicates. Treatments were applied in two stages: the first one took place prior to planting *G. robusta* and consisted of residue management, with two levels: a) slash conservation, and b) slash burning.

CUADRO 1. Densidad aparente y propiedades químicas del suelo previo a la aplicación de los tratamientos y 24 meses después.
TABLE 1. Bulk density and chemical properties of the soil prior to treatment application and 24 months later.

Horizonte / Horizons	D_{ap} / S_{bd} ($Mg \cdot m^{-3}$)	pH	M. O. / O. M. (%)	N (%)	P (ppm)	Ca	Mg ($cmol_c \cdot kg^{-1}$)	K	
Previo a la aplicación de los tratamientos / Prior to treatment application									
A (0-10 cm)	1.24	4.93	7.32	0.18	1.93	4.84	1.97	0.89	
AB (10-30 cm)	1.36	4.87	4.29	0.13	1.27	3.19	1.74	0.83	
B (30-60 cm)	1.36	4.47	2.83	0.09	0.66	2.60	1.16	0.94	
24 meses después de la aplicación de los tratamientos / 24 months after treatment application									
CR/ SC	A (0-10 cm)	s/d	4.94	3.82	0.19	11.3	4.00	2.86	0.80
	AB (10-30 cm)	s/d	4.95	2.29	0.13	7.00	3.30	2.24	0.50
QR/ SB	A (0-10 cm)	s/d	4.94	3.22	0.17	11.9	3.87	2.63	0.80
	AB (10-30 cm)	s/d	4.89	1.87	0.12	6.71	2.45	1.28	0.50

D_{ap} = Densidad aparente del suelo; pH en agua (relación suelo:agua [1:2.5]); M. O. : Materia orgánica (Método Walkley-Black); N (método semi-micro Kjeldahl); P (Método Bray II); Ca, Mg y K (Método cloruro de sodio); CR = Conservación de residuos; QR = Quema de residuos; s/d = Sin determinar
 S_{bd} = Soil bulk density; pH in water (soil:water ratio [1:2.5]); O. M.: Organic Matter (Walkley-Black method); N (semi-micro Kjeldahl method); P (Bray II method); Ca, Mg and K (sodium chloride method); SC = Slash Conservation; SB = Slash Burning; und = Undetermined.

CUADRO 2. Necromasa y contenido de nutrientes en los residuos forestales, previo y posterior a la aplicación del tratamiento de quema de residuos.

TABLE 2. Necromass and nutrient content in forest slash, prior to and after slash burning treatment.

	Necromasa / Necromass ($Mg \cdot ha^{-1}$)	Contenido de nutrientes / Nutrient content ($kg \cdot ha^{-1}$)				
		N	P	Ca	Mg	K
Previo a la quema / Prior to burning	50.66	331.3	17.7	233.7	36.5	74.7
Posterior a la quema / After burning	15.39	99.8	4.3	73.6	12.0	25.3

Diseño experimental

En septiembre de 2007 se realizó la aplicación de los tratamientos de preparación de terreno bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial (2 x 3) con tres repeticiones. Los tratamientos se aplicaron en dos etapas: la primera de ellas previo a la plantación de *G. robusta* y consistió en el manejo de residuos con dos niveles; a) conservación de residuos y b) quema de residuos. La conservación de residuos forestales consistió en mantenerlos esparcidos sobre el terreno. La quema de residuos se efectuó en "escolleras" donde el material se acumuló en lo que luego sería la entre-línea de plantación, afectando aproximadamente el 50 % de la superficie. Después de la aplicación de los tratamientos, la necromasa de residuos en el sitio se cuantificó nuevamente para determinar el contenido de nutrientes existente. Posteriormente, los residuos sobre la superficie se reordenaron y

The slash was conserved by leaving it scattered over the ground. The slash was burnt in piles where the material had been accumulated in what would later be the space between the planting rows, affecting approximately 50 % of the surface. After the treatments were applied, the slash necromass at the site was quantified again to determine the existing nutrient content. Subsequently, the slash on the surface was rearranged and subsoiling was performed in all the trial planting rows, with the aim of facilitating plantation establishment and not obstructing the effect of the treatments.

The *G. robusta* plantation was created with plants produced in containers at the company's nursery. The plants were spaced 2.5 m apart in each row and 5 m apart between rows. The second treatment phase began one month after plantation establishment. It consisted of fertilizer application to

se aplicó subsolado en la línea de plantación de todo el ensayo, con el objetivo de facilitar el establecimiento de la plantación y no obstaculizar el efecto de los tratamientos.

La plantación de *G. robusta* se hizo con plantas producidas en contenedores en el vivero de la empresa. El distanciamiento entre plantas fue de 2.5 m en la línea y 5 m en la entrelínea. La aplicación de la segunda etapa de tratamientos se inició después de un mes del establecimiento de la plantación. Éstos consistieron en la aplicación de fertilizante a las plantas con tres niveles: a) sin aplicación de fertilizante, b) aplicación de fertilizante luego del establecimiento de la plantación y c) aplicación de fertilizante después de un año del establecimiento. La dosis de fertilizante aplicada fue la de mejor respuesta al crecimiento de *G. robusta* en la región (Martíarena et al., 2008), la cual estuvo compuesta por 200 g-planta⁻¹ de superfosfato triple (SFT) y 100 g-planta⁻¹ de cloruro de potasio (KCl). La aplicación del fertilizante luego del establecimiento de la plantación se realizó a 30 cm del cuello de la planta, mientras que la aplicación al año de establecidas se hizo a 50 cm de distancia debido al mayor volumen de exploración del sistema radicular. En ambos casos, el fertilizante se colocó en forma de corona y se incorporó al suelo mediante azada. Cada parcela estuvo conformada por 35 plantas de medición presentando un bordo perimetral simple entre parcelas, mientras que la división entre bloques tuvo un bordo perimetral doble. El control de malezas de la plantación se realizó manualmente en la línea de plantación y el control de hormiga mediante cebos químicos.

La combinación de factores en los tratamientos fue la siguiente: 1) conservación de residuos sin aplicación de fertilizante (CS), 2) conservación de residuos con aplicación de fertilizante en el establecimiento (CAE), 3) conservación de residuos con aplicación de fertilizante al año de establecida la plantación (CAA), 4) quema de residuos sin aplicación de fertilizante (QS), 5) quema de residuos con aplicación de fertilizante en el establecimiento (QAE) y 6) quema de residuos con aplicación de fertilizante al año de establecida la plantación (QAA).

Las variables de crecimiento se registraron a los 12, 24 y 36 meses de la plantación. A los 12 y 24 meses se registró sólo la altura total de todos los individuos, mientras que a los 36 meses también se midió el DAP de los árboles. También a los 24 meses de instalado el ensayo, se muestreó el suelo para determinar densidad aparente, concentración de nutrientes y propiedades químicas, aplicando metodología similar a la que se utilizó previo a la aplicación de los tratamientos. Los muestreos se realizaron en las parcelas con quema y conservación de residuos, ambas sin aplicación de fertilizante, manteniendo la individualidad de las repeticiones.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron estadísticamente con el paquete InfoStat 2.0. Los datos de crecimiento fueron tratados con ANO-

the plants with three levels: a) unfertilized, b) fertilizer application after plantation establishment, and c) fertilizer application one year after establishment. The fertilizer dose applied has provided the best growth response in *G. robusta* in the region (Martíarena et al., 2008); it consisted of 200 g-plant⁻¹ of triple superphosphate (TSP) and 100 g-plant⁻¹ of potassium chloride (KCl). Fertilizer application after plantation establishment was made at 30 cm from the plant crown, while the application made one year after establishment was at 50 cm distance due to the root system's higher exploration volume. In both cases, the fertilizer was placed in a crown-like shape and incorporated into the ground by hoeing. Each plot consisted of 35 measurement plants with a single-perimeter raised furrow between plots, while the division between blocks had a double-perimeter raised furrow. Plantation weed control was manually performed in the planting rows, while ant control was performed using chemical baits.

The factor combinations in the treatments were as follows: 1) slash conservation without fertilizer application (CS), 2) slash conservation with fertilizer application during establishment (CAE), 3) slash conservation with fertilizer application one year after plantation establishment (CAA), 4) slash burning without fertilizer application (QS), 5) slash burning with fertilizer application during establishment (QAE), and 6) slash burning with fertilizer application one year after plantation establishment (QAA).

Growth variables were recorded at 12, 24 and 36 months after planting. At 12 and 24 months, only the total height of all the individuals was recorded, while at 36 months the DBH of the trees was also measured. Also, at 24 months after study installation, the soil was sampled to determine bulk density, nutrient concentration and chemical properties by applying a methodology similar to that used before treatment application. Sampling was conducted in plots with slash burning and conservation, both without fertilizer application, while maintaining the individuality of the replicates.

Statistical analysis

Data were statistically analyzed with InfoStat 2.0 software. Growth data were treated with an ANOVA using a randomized complete block design with a 2 x 3 factorial arrangement. Comparison of means was performed with Tukey's multiple comparison test ($P = 0.05$) for growth increases in both diameter and height, in the period when the plantation was two to three years of age.

RESULTS AND DISCUSSION

Total plant height at 12 months was significantly higher ($P < 0.0001$) in the fertilizer than non-fertilizer treatments; the QAE combination generated the highest total height recorded (187.4 cm) (Figure 1A). Figure 1B shows the effect of the levels of each analysis factor; slash burning showed significant differences ($P = 0.0276$) relative to slash

VA con un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial (2 x 3). La comparación de medias se efectuó con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($P = 0.05$) para los datos de crecimiento en diámetro y para los incrementos del crecimiento en altura, en el periodo de dos a tres años de edad de la plantación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La altura total de la plantación a los 12 meses fue significativamente superior ($P < 0.0001$) en los tratamientos fertilizados respecto de los no fertilizados; la combinación QAE generó el mayor registro absoluto (187.4 cm) (Figura 1A). En la Figura 1B puede observarse el efecto de los niveles de análisis de cada factor; la quema de residuos mostró diferencias significativas ($P = 0.0276$) respecto de la conservación de los mismos, con un incremento de 7.5 %. La altura total de las plantas fue significativamente mayor ($P < 0.0001$) cuando se aplicó fertilizante (35.6 %) respecto de la no aplicación.

La aplicación de fertilizante en el establecimiento de la plantación de *G. robusta* respondió de acuerdo con lo previsto (Martiarena et al., 2008), supliendo parte de lo requerido para aumentar su crecimiento. La falta de respuesta de la plantación a la quema de residuos, podría deberse a la modalidad e intensidad de la quema, ya que los residuos se encontraban en la entrelínea y es probable que las raíces poco desarrolladas de la plantación no hayan tenido acceso a los nutrientes liberados por la quema. Esta tendencia coincide con otras investigaciones similares en la región (Martiarena et al., 2004).

A los 24 meses de edad de la plantación, la altura total fue significativamente mayor ($P = 0.0189$) donde se apli-

conservation, with a 7.5 % increase. Total plant height was significantly higher ($P < 0.0001$) when fertilizer was applied (35.6 %) compared to when it was not.

Fertilizer application in the establishment of the *G. robusta* plantation worked as expected (Martiarena et al., 2008), supplying part of what is required to increase tree growth. The lack of plantation response to slash burning could be due to the modality and intensity of the burn, since the slash was in the space between rows and it is likely that the plantation's poorly-developed roots had no access to the nutrients released by the burn. This trend is consistent with the findings of similar studies in the region (Martiarena et al., 2004).

When the plantation reached 24 months of age, total height was significantly higher ($P = 0.0189$) in those places where slash burning was applied, compared to those where slash was kept. Fertilizer application also generated significant differences ($P < 0.0001$) in total height; the average records were 2.75, 3.43 and 3.05 m in treatments without fertilizer application, fertilizer application after plantation establishment, and fertilizer implementation one year after establishment, respectively.

Figure 2A shows that when the plantation was 36 months of age, total height in the slash burning and conservation areas was not significantly different ($P = 0.1827$). It can also be seen that fertilizer application presented significant differences ($P = 0.0002$) between application during establishment and the other fertilization levels. Diameter growth in slash management was not significantly different ($P = 0.1419$), while with the fertilizer application factor it was significant ($P = 0.0001$), differentiating the three fertilization levels (Figure 2B).

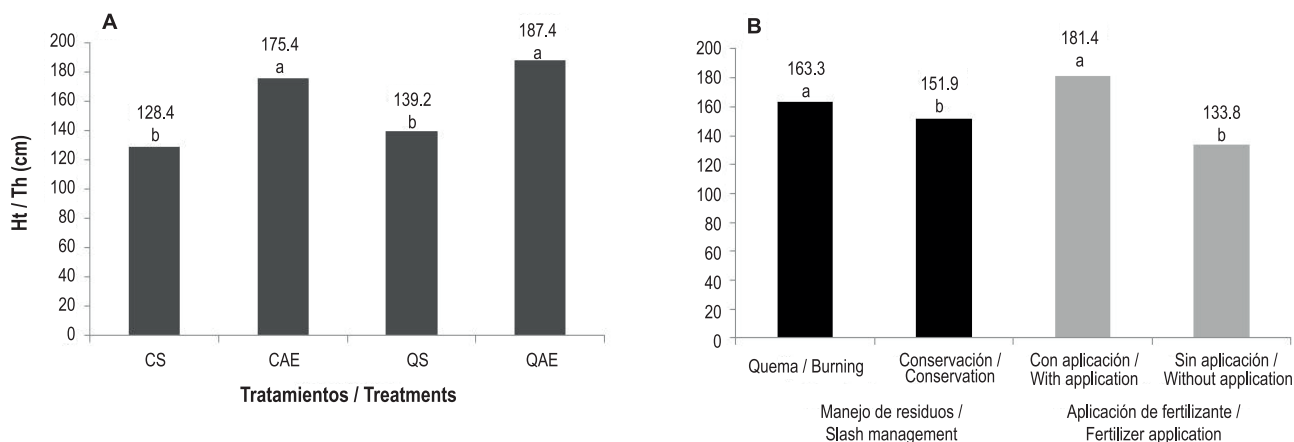


FIGURA 1. Altura total (Ht) de *Grevillea robusta* a los 12 meses de edad bajo diferentes técnicas de manejo de residuos y fertilización en el establecimiento. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P = 0.05$) entre niveles de cada factor de análisis. CS: Conservación de residuos sin aplicación de fertilizante, CAE: Conservación de residuos con aplicación de fertilizante, QS: Quema de residuos sin aplicación de fertilizante, QAE: Quema de residuos con aplicación de fertilizante.

FIGURE 1. Total height (Th) of *Grevillea robusta* at 12 months of age under different slash management and fertilization techniques during establishment. Different letters indicate significant differences ($P = 0.05$) between levels of each analysis factor. CS: Slash conservation without fertilizer application, CAE: Slash conservation with fertilizer application, QS: Slash burning without fertilizer application, QAE: Slash burning with fertilizer application.

có quema de residuos respecto de donde se conservaron los mismos. La aplicación de fertilizante también generó diferencias significativas ($P < 0.0001$) en la altura total de la plantación; los registros promedio fueron 2.75, 3.43 y 3.05 m en los tratamientos sin aplicación de fertilizante, aplicación de fertilizante luego del establecimiento de la plantación y aplicación de fertilizante después de un año de establecimiento, respectivamente.

En la Figura 2A puede apreciarse que, a los 36 meses de edad de la plantación, la altura total no se manifestó significativamente diferente ($P = 0.1827$) respecto de la quema y conservación de residuos. También puede observarse que la aplicación de fertilizante manifestó diferencias significativas ($P = 0.0002$) entre la aplicación en el establecimiento y los niveles restantes de fertilización. El crecimiento diamétrico en el manejo de residuos no fue significativamente diferente ($P = 0.1419$), mientras que con el factor aplicación de fertilizante sí fue significativo ($P = 0.0001$), diferenciándose los tres niveles de fertilización (Figura 2B).

La Figura 3 muestra que la interacción entre factores de análisis no fue significativa ($P = 0.5331$); no obstante, la prueba de comparaciones múltiples de Tukey identificó diferencias entre tratamientos, donde la máxima diferencia en crecimiento diamétrico se manifestó entre la combinación QAE y CS, siendo superior el tratamiento QAE con 43.7 %. De estos resultados puede deducirse que aproximadamente 34 % de la diferencia entre ambos tratamientos es atribuible a la fertilización, 7 % a la quema de residuos y 3 % a la interacción de los tratamientos de quema y fertilización, que si bien el porcentaje es pequeño, coincide con lo reportado por Yamada (2003) y Mead (2005), quienes manifiestan que la combinación de tratamientos mejora las condiciones de crecimiento. También en la Figura 3 puede observarse que

Figure 3 shows that the interaction between analysis factors was not significant ($P = 0.5331$); however, Tukey's multiple comparison test identified differences among treatments, where the maximum difference in diameter growth was between the QAE and CS combinations, with the QAE treatment being 43.7 % greater. From these results it can be deduced that approximately 34 % of the difference between the two treatments is attributable to fertilization, 7 % to slash burning, and 3 % to the interaction between the burning and fertilization treatments, which, although a small percentage, coincides with that reported by Yamada (2003) and Mead (2005), who state that treatment combinations improve growing conditions. Figure 3 also shows that the QAA interaction did not enhance growth, being of similar magnitude to the individual treatments (QS and CAE). The lack of difference between the QAA and aforementioned individual treatments may be due to the ability of several species of the family Proteaceae to form clusters in their root system, with *G. robusta* being one of them. Clusters facilitate nutrient uptake and are mainly formed in the absence of P in the soil (Skene & James, 2000), which coincides with what occurs in the soils in the study region (Vásquez & Morales, 2000). This could explain the lower magnitude response to fertilization one year after plantation establishment, since P deficiency in the cultivation site could have led to the formation of a greater number of clusters and thus they have adapted to local conditions.

Generally, forest species respond during the first three years of growth to the addition of fertilizer during establishment (Mead, 2005). The species *G. robusta* has shown response to this factor in our region (Misiones) (Martirena et al., 2008) and in other latitudes (Karanja, Mwendwa, Okalevo, & Kahindi, 2004; Karanja, Mwendwa, & Zapata, 1999), but there was no history of slash management and treatment

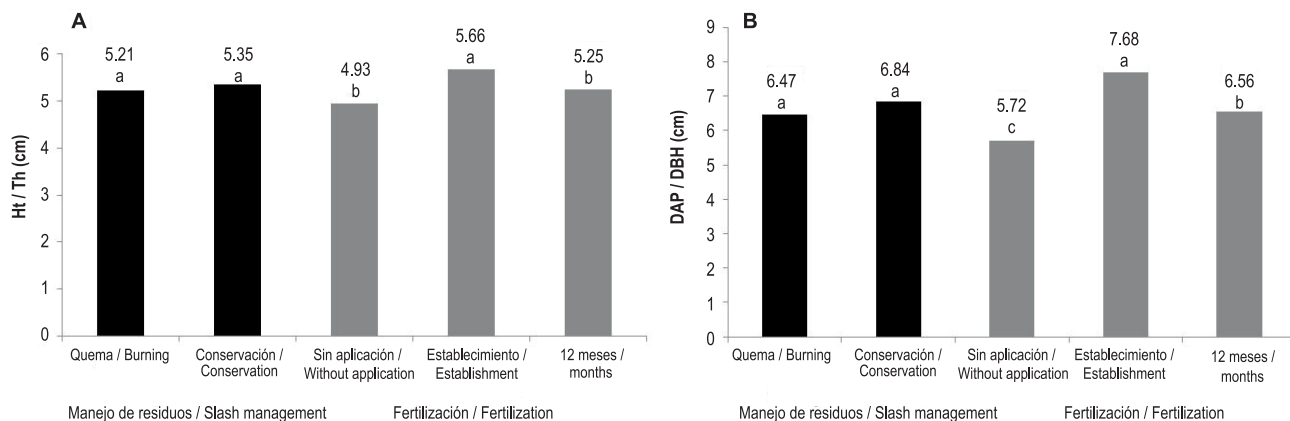


FIGURA 2. Altura total (Ht) y diámetro (DAP) de *Grevillea robusta* a los tres años de edad bajo diferentes técnicas de establecimiento de la plantación. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P = 0.05$) entre niveles de cada factor de análisis.

FIGURE 2. Total height (Th) and diameter (DBH) of *Grevillea robusta* at three years of age under different plantation establishment techniques. Different letters indicate significant differences ($P = 0.05$) between levels of each analysis factor.

la interacción QAA no potenció el crecimiento, siendo de magnitud similar con los tratamientos individuales (QS y CAE). La ausencia de diferencia en el tratamiento QAA, respecto de los tratamientos individuales mencionados, podría deberse a que varias especies de la familia Proteaceae tienen la capacidad de formar clusters en su sistema radicular, siendo *G. robusta* una de ellas. Los clusters facilitan la absorción de nutrientes y se forman principalmente ante la carencia de P en el suelo (Skene & James, 2000), coincidente con lo que ocurre en los suelos de la región de estudio (Vásquez & Morales, 2000). Esto podría explicar la menor magnitud de respuesta a la fertilización luego de un año de establecida la plantación, ya que la carencia de P en el sitio de cultivo podría haber conducido la formación de mayor cantidad de clusters y así haberse adaptado a las condiciones locales.

Generalmente, las especies forestales responden durante los primeros tres años de crecimiento al agregado de fertilizante durante el establecimiento (Mead, 2005). La especie *G. robusta* ha mostrado respuesta a este factor en nuestra región (Misiones) (Martiarena et al., 2008) y en otras latitudes (Karanja, Mwendwa, Okalevo, & Kahindi, 2004; Karanja, Mwendwa, & Zapata, 1999), pero no había antecedentes del manejo de residuos y la combinación de tratamientos. Harwood y Booth (1992) citan que, con buenos suelos, *G. robusta* podría incrementar en promedio 2 cm·año⁻¹ de DAP

combinations. Harwood and Booth (1992) state that, with good soils, *G. robusta* could increase on average by 2 cm·yr⁻¹ in DBH during the first five years of age. In our study, a 2.7 cm·yr⁻¹ diameter increase was achieved in the plantation's first three years of age with the QAE treatment. In Misiones, Fassola et al. (2004) report, for a similar stand density, trees with an average diameter and height of 5.7 cm and 3.9 m, respectively, at three years of age. These values were surpassed with the establishment techniques presented in our study, since the application of slash burning and fertilization during establishment allowed attaining an average diameter of 8.06 cm (Figure 3) and an average height of 5.8 m at the same age.

At 3 years of age, there are growth differences in the *G. robusta* plantation among the different treatments, which coincides with Type 2 response (Snowdon et al., 2002). However, the cutting cycle must be completed to determine whether the QAE treatment is able to maintain growth differences, since slash conservation is used as a means of increasing soil nutrient stocks (Sánchez, Carter, & Leggett, 2009). Figure 4 shows the analysis of plantation total height increases in the period from 24-36 months, when, as can be seen, the plantation recorded the same growth ($P = 0.4903$) with all treatments. This result may be associated with the larger amount of nutrients contained in the necromass remaining at the

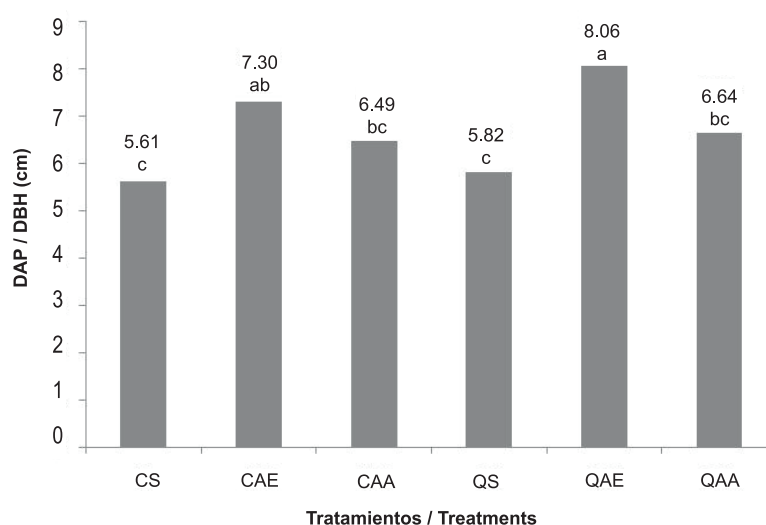


FIGURA 3. Interacción de factores del crecimiento en diámetro (DAP) de *Grevillea robusta* a los tres años de edad bajo diferentes técnicas de establecimiento de la plantación. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P = 0.05$) entre tratamientos. CS: Conservación de residuos sin aplicación de fertilizante, CAE: Conservación de residuos con aplicación de fertilizante, CAA: Conservación de residuos con aplicación de fertilizante al año de establecida la plantación, QS: Quema de residuos sin aplicación de fertilizante, QAE: Quema de residuos con aplicación de fertilizante, QAA: Quema de residuos con aplicación de fertilizante al año de establecida la plantación.

FIGURE 3. Interaction of growth factors on diameter (DBH) of *Grevillea robusta* at three years of age under different plantation establishment techniques. Different letters indicate significant differences ($P = 0.05$) among treatments. CS: Slash conservation without fertilizer application, CAE: Slash conservation with fertilizer application, CAA: Slash conservation with fertilizer application one year after plantation establishment, QS: Slash burning without fertilizer application, QAE: Slash burning with fertilizer application, QAA: Slash burning with fertilizer application one year after plantation establishment.

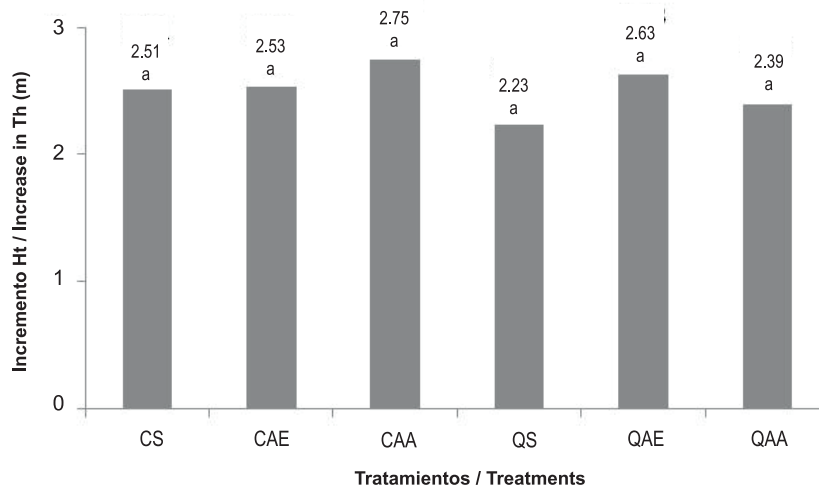


FIGURA 4. Incremento de la altura total (Ht) de *Grevillea robusta* en el periodo 24-36 meses de edad bajo diferentes técnicas de establecimiento de la plantación. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P = 0.05$) entre tratamientos. CS: Conservación de residuos sin aplicación de fertilizante, CAE: Conservación de residuos con aplicación de fertilizante, CAA: Conservación de residuos con aplicación de fertilizante al año de establecida la plantación, QS: Quema de residuos sin aplicación de fertilizante, QAE: Quema de residuos con aplicación de fertilizante, QAA: Quema de residuos con aplicación de fertilizante al año de establecida la plantación.

FIGURE 4. Increase in total height (Th) of *Grevillea robusta* in the period from 24-36 months of age under different plantation establishment techniques. Different letters indicate significant differences ($P = 0.05$) among treatments. CS: Slash conservation without fertilizer application, CAE: Slash conservation with fertilizer application, CAA: Slash conservation with fertilizer application one year after plantation establishment, QS: Slash burning without fertilizer application, QAE: Slash burning with fertilizer application, QAA: Slash burning with fertilizer application one year after plantation establishment.

durante los primeros cinco años de edad. En el presente estudio se alcanzó un incremento en diámetro de $2.7 \text{ cm}\cdot\text{año}^{-1}$ en los primeros tres años de edad de la plantación con el tratamiento QAE. En Misiones, Fassola et al. (2004) reportan, para una densidad del rodal similar, árboles con un diámetro promedio de 5.7 cm y altura media de 3.9 m a los tres años de edad. Estos valores fueron superados con las técnicas de establecimiento presentadas en este estudio, ya que la aplicación de quema de residuos y fertilización durante el establecimiento permitió alcanzar un diámetro promedio de 8.06 cm (Figura 3) y una altura media de 5.8 m a la misma edad.

A los tres años de edad de la plantación existen diferencias de crecimiento en la plantación de *G. robusta* entre los diferentes tratamientos, lo cual coincide con la respuesta del tipo 2 (Snowdon et al., 2002). No obstante, se debe completar el turno de cosecha para determinar si el tratamiento QAE es capaz de mantener las diferencias de crecimiento, ya que la conservación de los residuos de cosecha se utiliza como medio para incrementar el contenido de nutrientes en el suelo (Sánchez, Carter, & Leggett, 2009). La Figura 4 muestra el análisis de los incrementos en altura total de la plantación en el periodo 24-36 meses, donde se observa que la plantación registró el mismo crecimiento ($P = 0.4903$) con todos los tratamientos. Este resultado podría estar asociado con la mayor cantidad de nutrientes contenidos en la ne-

site, compared to the slash burning treatments (Table 2) at the moment of study installation. The results cannot be attributed to differences in soil nutrient concentration, since at 24 months no significant differences were observed among treatments in the first 30 cm of depth.

CONCLUSIONS

The combinations of plantation establishment techniques used in this trial changed the initial growth of *G. robusta*. The most effective combination for growth was slash burning with fertilization during establishment, enabling the plantation to maintain a 43.7 % increase in diameter growth until 36 months of age compared to the slash conservation without fertilizer application treatments. However, growth and the effect of the treatments on soil chemical properties should continue to be monitored and assessed in the long term.

cromasa restante en el sitio, respecto de los tratamientos de quema de residuos (Cuadro 2) al momento de la instalación del ensayo. Los resultados no pueden ser atribuidos a diferencias en concentración de nutrientes en el suelo, ya que a los 24 meses no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los primeros 30 cm de profundidad.

CONCLUSIONES

La combinación de técnicas de establecimiento de la plantación modificó el crecimiento inicial de *G. robusta*. La combinación más efectiva para el crecimiento fue quema de residuos con fertilización durante el establecimiento, logrando que la plantación mantuviera un incremento de 43.7 % del crecimiento diamétrico hasta los 36 meses de edad con respecto de los tratamientos de conservación de residuos sin aplicación de fertilizante. No obstante, se debe seguir evaluando el crecimiento y monitoreando el efecto de los tratamientos sobre las propiedades químicas del suelo a largo plazo.

REFERENCIAS

- Fassola, H., Moscovich, F., Domecq, C., Ferrere, P., Lacorte, S., Hampel, H., & Alegranza, D. (2004). Regulación de la densidad en rodales de *Grevillea robusta* a. Cunn. para la producción de madera de calidad y forraje en el sur de la provincia de Misiones. *Revista RIA*, 33(1), 15–38. Obtenido de http://anterior.inta.gov.ar/ediciones/ria/33_1/02.pdf
- Fox, T. (2000). Sustained productivity in intensively managed forest plantation. *Forest Ecology and Management*, 138, 187–202. doi : 10.1016/S0378-1127(00)00396-0
- Harwood, C., & Booth, T. (1992). Status of *Grevillea robusta* in forestry and agroforestry. In C. Harwood (Ed.), *Grevillea in agroforestry and forestry. Proceedings of an international workshop* (pp. 9–19). Nairobi, Kenya: ICRAF.
- Infostat. (2008). *InfoStat. Software estadístico. Versión 2.0*. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba.
- Karanja, N., Mwendwa, K., Okalevo, J., & Kahindi, J. (2004). Effect of phosphate rock fertilization and arbuscular micorrhizae inoculation on grown and nodulation of agroforestry tree seedlings. *West African Journal of Applied Ecology*, 6, 55–64. Obtenido de http://www.wajae.org/papers/paper_vol6/effect_of_phosphate_rock_fertilization_full.pdf
- Karanja, N., Mwendwa, K., & Zapata, F. (1999). Growth response of *Grevillea robusta* A. Cunn. Seedlings to phosphorus fertilization in acid soils from Kenya. *Biotechnologie, Agronomie, Societé et Environnement*, 3(1), 57–64. Obtenido de <http://pressesagro.be/base/text/v3n1/57.pdf>
- Lacorte, S., Fassola, H., Domecq, C., San José, M., Hennig, M., Correa, ... Moscovich, F. (2003). Efecto del pastoreo en el crecimiento de *Grevillea robusta* A. Cunn. y la dinámica del pastizal en Misiones, Argentina. *Revista RIA*, 32(2), 79–96. Obtenido de http://anterior.inta.gov.ar/ediciones/ria/32_2/art6.htm
- Lupi, A., Fernández, M., Reis, H., Bernio, J., Elizaul J., & Reboratti, H. (2000). *Evaluación inicial de técnicas de establecimiento post-tala rasa sobre el crecimiento inicial del Eucalyptus grandis hill. ex maiden en el noreste Argentino*. Malaysia: Actas Resúmenes Congreso Mundial IUFRO.
- Martiarena, R., Fernández, R., Lupi, A., Alegranza, D., Pahr, N., & Bischoff, D. (2004). Influencia del momento de aplicación de N y P sobre el crecimiento de *Araucaria angustifolia*. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Simposio Nacional sobre suelos Vertisólicos. Paraná, Entre Ríos, Argentina. Obtenido de http://anterior.inta.gov.ar/f/?url=http://anterior.inta.gov.ar/montecarlo/INFO/documentos/forestales/martiarena_efectoprep.pdf
- Martiarena, R., Von Wallis, A., Domecq, C., Fernández, R., & Knebel, O. (2008). Respuesta de la *Grevillea robusta* A. Cunn. a la fertilización inicial con N, P y K. Resultados a los 6 años. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Semiárido: Un desafío para la ciencia del suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina: Asociación Argentina Ciencia del Suelo. Obtenido de http://anterior.inta.gov.ar/f/?url=http://anterior.inta.gov.ar/montecarlo/INFO/documentos/forestales/3_19_Martiarena_R.pdf
- Martiarena, R., Von Wallis, A., Fernández, R., & Knebel, O. (2007). Efecto de prácticas de preparación de terreno sobre el contenido de nutrientes y el crecimiento en plantaciones forestales. *Avances en Ingeniería Agrícola 2005-2007*, 303–310.
- Martiarena, R., Von Wallis, A., & Knebel, O. (2009). Pérdida de nutrientes durante la cosecha y el establecimiento forestal en un rodal de *Pinus taeda* en Wanda, Iguazú, provincia de Misiones, Argentina. *Revista Forestal Venezolana*, 53(2), 165–173. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/31135/1/articulo5.pdf>
- Mead, D. (2005). Opportunities for improving plantation productivity. How much? How quickly? How realistic? *Biomass and Bioenergy*, 28, 249–266. doi: 10.1016/j.biombioe.2004.08.007
- Newton, P., & Amponsah, I. (2006). Systematic review of short-term growth responses of semi-mature black spruce and jack pine stands to nitrogen based fertilization treatments. *Forest Ecology and Management*, 237, 1–14. doi:10.1016/j.foreco.2006.10.009
- Pereira, J., Schaitza, E., & Baggio, A. (2000). Propriedades físicas e químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Grevillea robusta*. Colombo, Brasil: Embrapa Florestas. Obtenido de <http://www.cnpf.embrapa.br/publica/circotec/edicoes/circ-tec40.pdf>
- Pérez, C., Goya, J., Bianchini, F., Frangi, J., & Fernandez, R. (2006). Productividad aérea y ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. en el norte de la provincia de Misiones, Argentina. *Interciencia*, 31(11), 794–801. Obtenido de http://www.interciencia.org/v31_11/index.html
- Raison, R. (1979). Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular references to nitrogen transformations. *Plant and Soil*, 51, 73–108. doi: 10.1007/BF02205929
- Sánchez, F., Carter, E., & Leggett, Z. (2009). Loblolly pine growth and soil nutrient stocks eight years after forest slash incorporation. *Forest Ecology and Management*, 257, 1413–1419. doi:10.1016/j.foreco.2008.12.016
- Sistema de Información Foresto-Industrial Provincial (SIFIP).

- (2010). Ministerio del Agro y la producción, Misiones, Argentina. Consultado 05-06-2012 en <http://extension.facfor.unam.edu.ar/sifip/inventario.htm>
- Skene, K., & James, W. (2000). A comparison of the effects of auxin on cluster root initiation and development in *Grevillea robusta* Cunn. ex R. Br. (Proteaceae) and in the genus *Lupinus* (Leguminosae). *Plant and Soil*, 219, 221–229. doi: 10.1023/A:1004730118886
- Snowdon, P. (2002). Modeling Type 1 and Type 2 growth responses in plantations after application of fertilizer or other silvicultural treatments. *Forest Ecology and Management*, 16, 229–244. doi: 10.1016/S0378-1127(01)00582-5
- Soil Survey Staff. (2010). *Claves para la taxonomía de suelos (11a ed.)*. Washington, DC, USA: USDA-NRCS. Obtenido de http://www.suelos.org.ar/adjuntos/claves_taxonomia_de_suelos_11th_ed_espaniol_2010.pdf
- Vázquez, S., & Morales, L. (2000). Adsorción de P por suelos ácidos de Misiones (Argentina). *Ciencia del suelo*, 18(2), 89–94. Obtenido de http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_18n2/vazquez_89-94.pdf
- Yamada, T. (2003). Como mejorar la eficacia de la fertilización aprovechando la interacción entre nutrientes. *Informaciones Agronómicas*, 50, 1–6. Obtenido de <http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf>
- Zárate-Morales, R. P., Ordóñez-Candelaria, V. R., & Martínez-Castillo, J.L. (2001). Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de *Grevillea robusta* A. Cunn. del estado de Veracruz. *Madera y Bosques*, 7(1), 57–69. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/617/61770107.pdf>