



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.147>

Artículo

Influencia de la fertilización mineral sobre la retención de carbono en una plantación de pino

Influence of mineral fertilization on carbon retention in a pine plantation

Jorge Luis Reyes Pozo^{1*}, Maria Amparo León Sánchez² y Grisel Herrero Echeverría³

Abstract:

The work was carried out with measurements taken on the same trees during the first 41 years of age of a *Pinus caribaea* plantation, established in the Experimental Station of Viñales Forest in Pinar del Río, Cuba, from a random block design where, Seven different treatments were established by the NPK doses and application regimes, plus a control treatment without the application of chemical fertilizer. Measurements were made at different ages to 288 trees with follow-up for 41 years. To estimate the effect of fertilization on carbon retention, height and diameter and the volume was calculated measurements were performed at different ages. The objective of this research was to study carbon sequestration in response to mineral fertilization applied fractionally in the first five years after the establishment of the plantation during the entire time studied. The analysis was used as a result to assert that the doses of 600 g tree⁻¹, 800 g tree⁻¹ and 1 000 g tree⁻¹ favor the carbon retention of the planted species, with the application of a single dose of 300 g tree⁻¹ lower values are obtained than those obtained by the control treatment.

Key words: Carbon, mineral fertilization, dose, pinewood, retention, time.

Resumen:

Con el objetivo de estimar el efecto que ejerce la fertilización mineral sobre la retención de carbono aplicada de forma fraccionada en los primeros cinco años de establecida la plantación el trabajo consistió en la evaluación de 288 árboles de diferentes edades durante los primeros 41 años de edad en una plantación de *Pinus caribaea*, establecida en la Estación Experimental Forestal de Viñales en Pinar del Río, Cuba. A partir de un diseño de bloques al azar, se establecieron siete tratamientos diferenciados por las dosis de NPK y regímenes de aplicación, más un tratamiento testigo sin la aplicación de fertilizante químico. Se realizaron mediciones de altura y diámetro y se calculó el volumen a diferentes edades. El análisis evidenció que las dosis de 600 g árbol⁻¹, 800 g árbol⁻¹ y 1 000 g árbol⁻¹ favorecen la retención de carbono de *P. caribaea*. Con la aplicación de una dosis única de 300 g árbol⁻¹ se obtienen valores inferiores a los del tratamiento testigo.

Palabras claves: Carbono, fertilización mineral, dosis, pinares, retención, tiempo.

Fecha de recepción/Reception date: 11 de enero de 2018

Fecha de aceptación/Acceptance date: 29 de noviembre de 2018

¹Instituto de Investigaciones del Tabaco (IIT), UCTB San Juan y Martínez. Cuba.

correo-e: investigacion4@eetsj.co.cu

²Universidad de Pinar del Río. Cuba.

³ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales (INAF). Cuba.

Introducción

Los efectos benéficos que ejercen los fertilizantes sobre la biología de las plantas son bien conocidos. Sin embargo, su aplicación incorrecta tanto en exceso como en déficit, puede acarrear consecuencias negativas.

Pinus caribaea Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari es una conífera autóctona de Cuba. Por su alta plasticidad ecológica y rápido crecimiento entre los pinos originarios de Cuba, se utiliza ampliamente en los planes de reforestación en todo el archipiélago cubano (Herrero *et al.*, 1990).

Los bosques absorben CO₂ de la atmósfera y lo almacenan como carbono, no solo en la biomasa, sino también en el subsuelo, lo que supone un aporte en la reducción de la cantidad de CO₂ presente en el aire. Los bosques cubren, aproximadamente, 29 % de los continentes, y contienen 60 % del carbono de la vegetación terrestre. En este sentido, se sugiere que un aumento de la superficie forestal puede ayudar a mitigar el efecto del calentamiento y el posible cambio climático, al menos a mediano y largo plazo (Sedjo y Solomon, 1989; Adams *et al.*, 1993; Van Kooten *et al.*, 1995; IPCC, 1996; Adams *et al.*, 1999; IPCC, 2000).

La posibilidad de utilizar el crecimiento de masas forestales como forma de almacenamiento de carbono ha recibido una creciente atención por parte de los gestores públicos, para afrontar el posible cambio climático (Bruce *et al.*, 1996). La absorción de carbono puede usarse para cumplir con los objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Mogas y Riera 2004).

La posibilidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la actividad forestal y su potencial para aumentar el secuestro de carbono, incrementa la importancia del sector forestal y su participación en las medidas orientadas a mitigar los efectos del cambio climático, según lo estipulado en el Protocolo de Kyoto (Makundi y Razali 1998), pues la fijación de carbono mediante la actividad forestal está en función de la acumulación y el almacenamiento de biomasa, por lo que cualquier actividad

práctica de ordenación que modifique la cuantía de la biomasa existente en una zona, influye en su capacidad de almacenar o fijar carbono (Moura, 2001).

Los bosques y suelos forestales son las principales áreas terrestres de reservas de carbono atmosférico. Los monocultivos o plantaciones de una especie emergen como la forma más eficiente de consolidar la capacidad de captura del componente, debido a que son fáciles de establecer y manejar, aunque pueden ser más susceptibles al fuego y a las plagas, producto de su homogeneidad.

De igual manera, la selección de especies tiene un impacto directo en el potencial de almacenamiento de carbono: aquéllas de rápido crecimiento acumulan mayor biomasa y carbono que las de lento desarrollo.

A las coníferas se les atribuye una mayor capacidad de acumulación de carbono que a las latifoliadas, debido a los procesos más lentos en la descomposición de la materia orgánica. Así, las variedades de eucalipto ofrecen altas tasas de captura de carbono en un amplio intervalo de condiciones.

No obstante, la capacidad de retención que no siempre se expresa en condiciones naturales por limitaciones de agua y nutrientes, sí puede manifestarse en una plantación bien manejada (Prado, 2015).

Las variedades de eucaliptos en numerosos sitios tienen tendencias invasivas, sin embargo en Cuba no se han señalado como especies exóticas.

Con base en lo anterior se planteó la siguiente hipótesis: si se aplica la fertilización mineral fraccionada en plantaciones de *Pinus caribaea*, establecidas en suelos Alíticos de baja actividad arcillosa, entonces se contribuye al incremento de la retención de carbono de la especie. El objetivo fue estudiar la retención de carbono en respuesta a la fertilización mineral aplicada de forma fraccionada en los primeros cinco años de establecida la plantación durante todo el horizonte temporal estudiado.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en la Estación Experimental Forestal de Viñales, Pinar del Río, Cuba, ubicada entre los 22°37' longitud norte y los 83°41' longitud oeste, a una altitud de 150 m.

Al inicio de la plantación, los valores de temperatura correspondieron a los de la estación meteorológica más cercana, perteneciente a la ciudad de Pinar del Río, según los cuales la temperatura media anual fue de 24.7 °C y la máxima diaria de 28.7 °C, la mínima diaria de 20.4 °C y la mínima absoluta de 16.2 °C (Awan y Frías, 1970).

Diseño experimental

El diseño experimental fue el de León *et al.* (2016); el experimento da continuidad a una serie de mediciones realizadas sobre los mismos árboles establecidos en 1971, a un ensayo de fertilización mineral diseñado en bloques al azar con cuatro bloques y ocho tratamientos, en los que se aplicaron de forma fraccionada NPK con fórmula 8-10-10, lo que indica que la proporción de NPK no cambió, solo se modificó la cantidad suministrada en cada árbol (Cuadro 1).



Cuadro 1. Tratamientos experimentales.

Tratamiento	Dosis Total NPK		Aplicaciones según edad (g árbol ⁻¹)					
	g árbol ⁻¹	kg ha ⁻¹	Edad (años)					
			1	2	3	4	5	
T1(testigo)	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	300	333	300	0	0	0	0	0
T3	600	667	200	400	0	0	0	0
T4	600	667	200	0	400	0	0	0
T5	800	889	200	200	400	0	0	0
T6	800	889	200	0	200	0	0	400
T7	1000	1111	200	200	400	200	0	0
T8	1000	1111	200	0	400	0	0	400

El fertilizante está compuesto por nitrato de amonio, fosfato mono amónico y sulfato de potasio; cuyas características se describen a continuación: nitrato de amonio 35 %, solubilidad 1 700 g L⁻¹, conductividad eléctrica 850 µS cm⁻¹, reacción ácida; fosfato mono amónico con 11 % nitrógeno, fósforo 48 %, solubilidad 200 g L⁻¹, conductividad eléctrica 455 µS cm⁻¹, reacción ácida; sulfato de potasio con riqueza 50 %, solubilidad 110 g L⁻¹, conductividad eléctrica 880 µS cm⁻¹, reacción neutra.

La procedencia de las semillas fue del huerto semillero Marbajitas, ubicado en el municipio La Palma, a 50 km del lugar donde se realizó la plantación. El marco de plantación fue de 3 × 3 m. El tamaño de las parcelas fue de 225 m² con un total de 25 árboles y nueve en la parcela útil, cuyos individuos fueron etiquetados y se les dio seguimiento durante todo el período que duró el ensayo.

El experimento se estableció en el año 1971 en la Estación Experimental Forestal Viñales. Se empleó el método de hoyos de plantación, el fertilizante se aplicó en surcos, en forma de media luna y fue cubierto con tierra, a inicios del periodo lluvioso, en el mes de julio, y durante los cinco primeros años de establecida la plantación.

Mediciones dasométricas realizadas en el ensayo

Para evaluar la respuesta de la especie a la fertilización, se calculó la cantidad de árboles vivos ha^{-1} , se midió la altura y el diámetro a 1.30 cm del suelo de los árboles de la parcela útil, con hipsómetro Blume-Leiss-1969 y forcípula Varsi-1970, respectivamente.

Los datos se registraron desde el año 1977, a la edad de seis años, hasta 2012 (41 años de edad). El número de árboles vivos por hectárea se estimó considerando solo los presentes en la parcela útil.

El contenido de carbono retenido en (Mg ha^{-1}) se determinó a partir de la altura, la cantidad de árboles vivos ha^{-1} , el diámetro y el volumen de madera con corteza a los 6, 8, 15, 33, 35 y 41 años de edad de la plantación.

Altura (h) se midió con regla graduada hasta los dos años de la plantación y con hipsómetro Blume – Leiss, después de los cinco metros.

Los volúmenes de madera correspondientes a cada una de las parcelas se calcularon sumando los volúmenes de los árboles sobrevivientes, de esa manera los valores estimados reflejaron los cambios en la cantidad de árboles vivos ha^{-1} (Cuadro 2).



Tabla 2. Toneladas de carbono (Mg ha⁻¹) retenido por las plantaciones en dependencia de los tratamientos y la edad.

Tratamiento	Edad de la plantación (años)					
	6	8	15	33	35	41
T-1	4.53 b	7.40 c	26.08 c	76.73 ab	88.28 b	106.25 b
T-2	5.13 b	9.00 bc	29.03 bc	61.55 b	83.40 b	102.03 b
T-3	6.88 ab	11.20 abc	40.93 abc	81.80 ab	105.50 ab	139.83 ab
T-4	7.05 ab	12.58 abc	37.03 abc	91.68 a	111.58 ab	154.43 a
T-5	7.38 ab	12.60 abc	44.25 ab	90.25 a	103.70 ab	137.28 ab
T-6	6.75 ab	13.28 ab	45.40 ab	96.13 a	124.53 a	156.68 a
T-7	8.43 a	15.00 a	48.85 a	99.13 a	122.80 a	151.48 a
T-8	7.33 ab	12.33 abc	46.08 ab	93.93 a	120.00 a	146.58 a
EE	0.900	1.613	5.406	6.993	9.577	12.749
CV	20.74	31.36	31.17	19.77	20.78	22.08

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas (Duncan, $P < 0.05$ %).

Las estimaciones se hicieron a partir de los seis años de edad, con base en la cantidad de árboles vivos por hectárea, mediante la fórmula de *Hubert*:

$$V = \frac{\pi}{4} \times 10^{-4} \times d^2 \times h \times C_f$$

Donde:

V = Volumen de madera por árbol, m³ .árbol⁻¹

d = Diámetro a 1.30 m del suelo (cm)

h = Altura (m)

C_f = Coeficiente mórfico, (0.5 para *Pinus caribaea*)

Carbono retenido

La retención de carbono se calculó a los 6, 8, 15, 33, 35 y 41 años de edad de la plantación, mediante la metodología para establecer la línea base de retención de carbono (Mercadet y Álvarez, 2009), que considera las variables: especie, edad (años), superficie (ha), altura (m), diámetro (cm), diámetro (m), volumen (m³), biomasa fuste (t), biomasa aérea, biomasa raíces, biomasa total (t) carbono biomasa (t).

Análisis económico

Para el cálculo del beneficio económico, se tuvo en cuenta el carbono (Mg ha⁻¹) a la edad de 41 años de la plantación (Cuadro 2), el costo de los fertilizantes en CUP (\$ 2 800.00), el costo de aplicación de fertilizante fue (\$ 81.60 CUP) y el valor de la tonelada de carbono (€ 10.01) dato de la media anual para 2018 (<https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>).

El beneficio económico se calculó por la fórmula:

$$BE = (T_c n - T_0) * CT_c - (C_{fer} + C_{apfer})$$

Donde:

BE = Beneficio económico

$T_c n$ = Toneladas de carbono para un tratamiento n

T_0 = Toneladas de carbono para el testigo

CT_c = Costo de tonelada de carbono (CUP)

C_{fer} = Costo de los fertilizantes (CUP)

C_{apfer} = Costo de la aplicación de los fertilizantes

La relación Valor/Costo (V/C) se calculó con la siguiente expresión:

$$V/C = \{BE\} / (C_{fer} + C_{apfer})$$

El precio de la tonelada de carbono en Euro se convirtió en CUC según la tasa de cambio vigente de 1.23245 CUC, y este valor se multiplico por \$ 25.00 a la tasa de cambio vigente para el peso cubano, con el objetivo de unificar la moneda.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis univariados de la varianza y pruebas de comparaciones múltiples de *Duncan*, a la cantidad de carbono retenido. Los datos se procesaron mediante un análisis de varianza, con un nivel de significancia de 0.05 %. Los análisis univariados se hicieron para las diferentes edades por separado. Se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, con el uso de la prueba de *Shapiro Wilk* y la homogeneidad de varianza con la prueba de *Levene*.

Resultado y Discusión

Efecto de la fertilización sobre la retención de carbono

La fertilización controlada en plantaciones forestales favorece el almacenamiento del carbono en los árboles. Se observa en el Cuadro 2 que en los tratamientos con las dosis más altas de fertilizante produjeron las mayores reservas de carbono, y superaron al testigo en 41.8 Mg ha⁻¹, como promedio a la edad de 41 años. En T2, con la dosis más baja, se obtuvieron valores inferiores al testigo, que corrobora lo planteado por Reyes *et al.* (2014) cuando se aplican dosis por debajo de las adecuadas se crean desequilibrios nutrimentales y consecuentemente menores crecimientos.

Para las edades de 6, 8 y 15 años las diferencias estadísticas se registraron con el tratamiento T1 como ocurre en edades superiores, esto estuvo influenciado por la altura que solo mostró diferencias significativas entre tratamientos en los primeros años, después se estabiliza y se pierde a los 17 años (Jiménez y Herrero, 1994); al final del período, solamente, el tratamiento en el que se aplicaron 300 g NPK árbol⁻¹ resultó estadísticamente diferente, y quedó por debajo su estimación, lo que demuestra que la altura es un indicador de calidad de sitio (Reyes, 2016).

Los resultados en los diferentes tratamientos en los que se aplicaron dosis de fertilizante mineral igual o superior a 600 g árbol⁻¹, presentaron mayores volúmenes de madera, lo que originó un aumento del carbono retenido por la planta, ya que esta es una de las principales variables que influyen en el incremento de la retención de carbono de la especie. En el tratamiento T1 a la edad de 33 años, no hubo diferencias significativas con los tratamientos del T3 al T8; no obstante, se observó que su valor numérico es menor al alcanzado por dichos tratamientos, lo que ratifica la importancia de la aplicación de fertilizante mineral, no solo como una vía para el incremento de los rendimientos en volumen de madera como el beneficio económico más importante, sino como un medio para mitigar los efectos del cambio climático, mediante el secuestro y retención de carbono.

Bruce *et al.* (1996) citado por Mogas y Riera (2004), plantearon la posibilidad de utilizar el crecimiento de masas forestales como forma de almacenamiento de carbono para afrontar el posible cambio climático y aumentar el secuestro de dicho elemento por las plantaciones forestales.

Si se tiene en cuenta que la aplicación de 800 a 1 000 g árbol⁻¹ de fertilizante químico contribuye a que la retención de carbono aumento en promedio 41.8 Mt ha⁻¹ más, se puede afirmar que la aplicación de fertilizante mineral de forma fraccionada en los primeros cinco años de establecida la plantación favorece la retención de carbono de la especie cultivada.

La sostenibilidad de las plantaciones forestales requiere la consideración de factores económicos y ambientales. Experimentos de campo demuestran que con el empleo

de grandes cantidades de fertilizantes se incrementa el crecimiento de los árboles. (Muller da Silva *et al.*, 2013).

La fertilización con nitrógeno tiene la capacidad de alterar, significativamente, el ambiente edáfico forestal y puede incrementar el almacenamiento de carbono (Smaill *et al.*, 2008). Shryock *et al.* (2014) citan que la fertilización con nitrógeno aumentó significativamente el carbono secuestrado por árbol, con respecto a las parcelas que no se fertilizaron.

En estudios realizados por BBC MUNDO (2003) y la FAO (2011), de forma general, los bosques proporcionan un servicio ambiental único al eliminar el dióxido de carbono de la atmósfera, almacenarlo en la biomasa, el suelo y los productos además ofrecen una alternativa sostenible a los combustibles fósiles. Particularmente, las plantaciones forestales de rápido crecimiento (pino y eucalipto) tienen efectos benéficos para el medio ambiente, ya que contribuyen en la disminución del efecto invernadero.

En Cuba las plantaciones de eucaliptos no presentan resultados adversos, en cuanto al desplazamiento de especies, ya que se utilizan, principalmente, como madera de bajas dimensiones para el aseguramiento de las cosechas tabacaleras, como postes para la producción de tabaco tapado y "cujes" para el ensarte.

Hay evidencias de que condiciones del suelo como el espacio poroso ocupado por agua, la temperatura, y la disponibilidad de carbono (C) soluble tienen un impacto dominante sobre las emisiones de N_2O . Los factores de manejo del cultivo y la fuente del fertilizante por utilizar pueden afectar las emisiones de N_2O , pero debido a las interacciones con los factores del suelo es difícil realizar conclusiones generales.

Un mal manejo de la dosis correcta, la fuente, del momento, o de la ubicación del fertilizante (N), y la falta de un balance apropiado con otros nutrientes esenciales pueden incrementar la pérdida total de N y las emisiones de N_2O . Cuando el N se aplica en dosis superiores a la óptima económica, o si el N disponible en el suelo (especialmente en formas de NO_3^-) excede la absorción realizada por el cultivo, el riesgo de aumentar las emisiones de N_2O se incrementa (Leyva, 2015).

Las plantaciones forestales, pueden jugar un papel importante en la retención del carbono y en apoyo de los esfuerzos globales para resolver los problemas del efecto invernadero y de los cambios climáticos (Salleh, 1997).

La tasa de fijación de carbono por hectárea plantada varía en función de la especie, el diseño de la plantación, el manejo, los suelos, entre otros; sin embargo, para toda área reforestada al crecer el volumen acumulado de biomasa, se incrementa la cantidad de toneladas de carbono mitigadas Arguedas-Marín (2012).

La representación gráfica de las toneladas de carbono registradas en los diferentes tratamientos y edades, refleja lo anteriormente expuesto (Figura 1). Se observa que los tratamientos con dosis de fertilizante superiores a 300 g árbol⁻¹ produjeron las mayores retenciones de carbono, significativamente superiores a los restantes. En el tratamiento T2, con la dosis más baja, los valores fueron inferiores al tratamiento testigo, lo cual ratifica los resultados de Vásquez (2001) y Reyes *et al.* (2014).

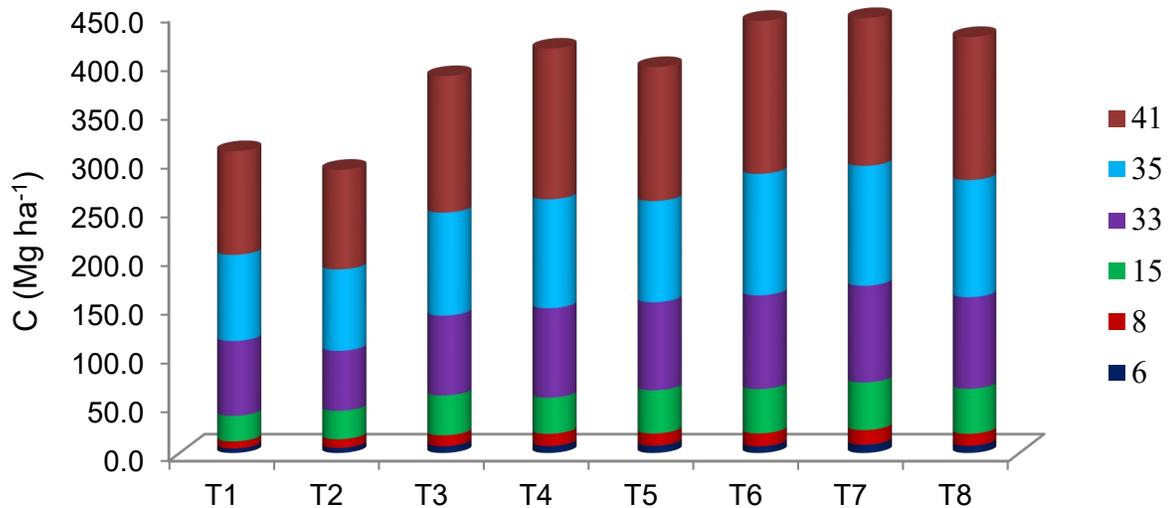


Figura 1. Carbono retenido por edad y tratamiento.

Los contrastes ortogonales para la comparación de los regímenes no dio diferencias significativas para el carbono retenido entre los alternos y continuos, en ninguno de los años con valores de $P_{1977} = 0.462$; $P_{1979} = 0.881$; $P_{1986} = 0.693$; $P_{2004} = 0.550$; $P_{2006} = 0.337$; $P_{2012} = 0.362$.

Análisis económico

Los tratamientos T3, T4, T5, T6, T7 y T8 registraron efectos económicos positivos, excepto el tratamiento T2 en el cual se aplicó una dosis mínima de 300 g árbol^{-1} . En la Figura 2 se presentan las diferencias en beneficio económico y la relación valor / costo de los tratamientos, con respecto al testigo. Las ganancias para los tratamientos del T3 al T8 están por encima de los $\$ 6\,000 \text{ ha}^{-1}$; destacan los tratamientos T4 y T6 con la mayor ganancia, superior a los $\$ 12\,000 \text{ ha}^{-1}$. Las pérdidas en el tratamiento T2 fueron inferiores a $\$ 2\,300 \text{ ha}^{-1}$, a los 41 años de edad de la plantación; y las relaciones V/C para los tratamientos T3, T4, T5, T6, T7 y T8 fueron superiores a dos, valor aceptable para una inversión en fertilización, cuando se evalúan los volúmenes de madera obtenidos en una hectárea (FAO, 1986).



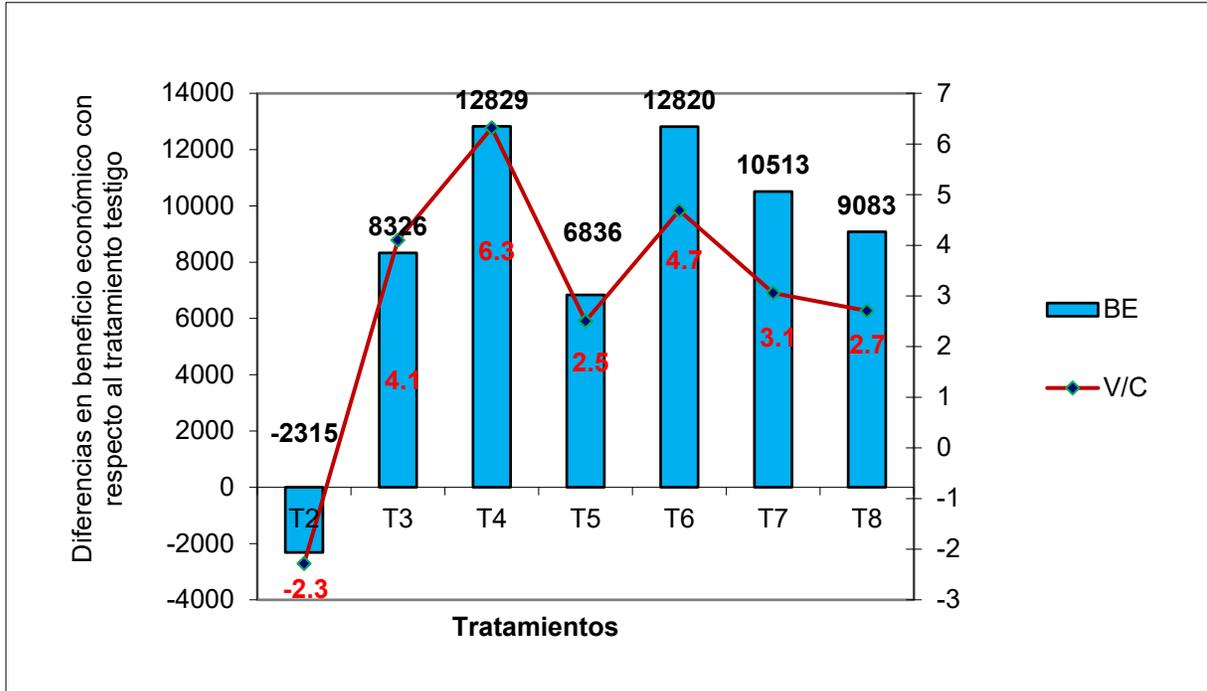


Figura 2. Análisis económico del experimento sobre aplicación de fertilizantes minerales en un suelo Alítico de Baja Actividad Arcillosa.

De forma general, los tratamientos T3, T4, T6, T7 y T8 fueron los de mejores resultados, sobresalen T4 y T6 con un beneficio económico superior a los \$ 12 000 ha⁻¹, y una relación valor / costo mayor a cuatro. Es importante resaltar que el tratamiento T7 se comportó como el más estable en todas las variables evaluadas (Reyes, 2016). En el análisis económico, a pesar de obtener una relación valor / costo de 3.1 inferior a otros tratamientos, su beneficio económico supera los \$ 10 000 ha⁻¹. Cualesquiera de estas últimas variantes representa una opción atractiva para el manejo silvícola, en función del fertilizante que se disponga y del uso al que se destine la madera, para obtener el máximo de retención de carbono, así como las mayores ganancias y la mejor relación valor / costo.

Conclusión

La fertilización como actividad silvícola tiene un impacto positivo y sostenido en el tiempo, cuando se evalúa la retención de carbono de la especie plantada y a la edad de 41 años de establecida la plantación continúa incrementándose. Las dosis más altas permiten obtener los mayores valores.

Conflicto de intereses

Los autores declaramos no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Jorge Luis Reyes Pozo: trabajo de campo, elaboración del manuscrito en lo relativo al resumen, introducción, resultados, discusión y conclusiones; Maria Amparo León Sánchez: elaboración del manuscrito en lo relativo al abstract, resultados, discusión, conclusiones, diseño de cuadros y figuras, análisis estadístico; Grisel Herrero Echeverría: revisión general y aplicación de correcciones, apoyo en resultados y discusión del escrito, revisión y sugerencias del manuscrito en lo relativo a resultados, discusión y conclusiones.

Referencias

Adams, D. M., R. J. Alig, B. A. McCarl, J. M. Callaway and S. M. Winnett. 1999. Minimum cost strategies for sequestering carbon in forests. *Land Economics* 75(3): 360-374.

Adams, R. M., D. M. Adams, J. M. Callaway, C. C. Chang and B. A. McCarl. 1993. Sequestering Carbon on Agricultural Land: Social Cost and Impacts on Timber Markets. *Contemporary Economic Policy* 11: 76-87.

Ajete, A., A. Mercadet, A. Álvarez, A., W. Toirac y F. Conde. 2012. Estimación del contenido de carbono en los bosques de la empresa forestal integral Guantánamo. *Revista Forestal Baracoa* 31(2): 3-8.

Arguedas-Marín, M. 2012. La huella de carbono del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 9(22): 51-59.

Awan, A. B. y G. Frías. 1970. Los suelos de la Estación Experimental Forestal de Viñales, Pinar del Río. *Baracoa* 2(1): 19 - 30.

BBC MUNDO. 2003. Las plantaciones forestales y el medio ambiente. www.bbc.co.uk/spanish/especiales/clima/ghouse (2 de junio de 2008).

Bruce, James P. Lee, Hoesung and Haites, Erik F. 1996: Climate change. 1995. Economic and social dimensions of climate change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. New York, NY USA. 438 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 1986. Guía de fertilizantes y nutrición vegetal. Boletín FAO Núm. 9. Fertilizantes y Nutrición vegetal.

https://books.google.com/cu/books/about/Gu%C3%ADa_de_fertilizantes_y_nutrici%C3%B3n_vege.html?id=IzrsAAAACAAJ&redir_esc=y. (8 de marzo de 2007).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2011. Situación de los bosques del mundo. Capítulo 3. El papel de los bosques en la mitigación del cambio climático y la adaptación. Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/a-i2000s.pdf> (15 enero 2018).

Herrero, G., P. Romeu, A. Betancourt, A. García, R. Anias y B. Aguirre. 1990. Respuesta de *Pinus caribaea* var *caribaea* a la fertilización en suelos fersialítico y ferrítico. *Ciencias de la Agricultura* 40: 142 - 153.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996: Scientific-technical analysis of impacts, adaptations, and mitigation of climate change. Report of Working Group II. *Climate Change (1995): IPCC Second Assessment Report*. Cambridge: *Cambridge University Press*.

Jiménez, M. y G. Herrero. 1994. Valoración preliminar de la influencia de los fertilizantes minerales en el desarrollo y crecimiento de una plantación de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. *Baracoa* 14(2): 7-24.

León, M. A, J. L. Reyes, G. Herrero y V. E. Pérez. 2016. Efecto de la fertilización sobre el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus caribaea* en plantaciones del occidente de Cuba. *Madera y Bosques* 22(3): 87-101pp.

Leyva, L. S. 2015. Buenas Prácticas Agrícolas: Uso de los Fertilizantes Nitrogenados en la Minimización de la Emisión de Gases de Efecto. *INGETECNO* 4(1):52-66.

Makundi, W. y W. Razali. 1998. Los bosques tropicales en el Protocolo de Kyoto. *Actualidad Forestal Tropical* 6(4): 5-8.

Mercadet, A. y A. Álvarez. 2009. Metodología para establecer la línea base de retención de carbono en las Empresas Forestales Integrales de Cuba. *In: Ortega, F., L. Fernández y A. V. Volpedo (eds.). Efecto de los cambios globales sobre el ciclo del carbono. RED CYTED 406RT0285 Efecto cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica". La Habana, Cuba. pp. 107-118.*

- Mogas, J. y P. Riera. 2004: El valor de la fijación de carbono en los programas de forestación. *In: II Simposio Iberoamericano de Gestión y Economía Forestal*. Barcelona, España. pp. 13-28.
- Moura, P. 2001. La Convención sobre el clima y el mercado de las contrapartes de las emisiones de carbono basadas en las actividades forestales. *Unasylva* 52 (206): 34-40.
- Muller da Silva, P. H., F. Poggiani, P. L. Libardi and A. Natal G. 2013. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. *Forest Ecology and Management* 301:67-78.
- Pérez, E. y M. Bonilla. 2014: La retención de carbono en plantaciones forestales. Estudio de caso: Empresa Forestal Integral Cienfuegos. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 2(2):203-213.
- Prado, J. A. 2015. Plantaciones Forestales, más allá de los árboles. Colegio de Ingenieros Forestales. Santiago de Chile, Chile. 166 p.
- Precios CO₂ 2018. <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2> (30 de marzo de 2018).
- Reyes, J. L. 2016. Fertilización fraccionada en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* y su impacto sobre algunos indicadores ambientales. Tesis de doctorado. Ciencias Forestales. Facultad de Agronomía y Forestal, Universidad Hermanos Saiz Montes de Oca. Pinar del Río, Cuba. 100 p.
- Reyes, J. L., G. Herrero, M. A. León, Y. Miñoso y S. Cúvelo. 2014. Respuesta a la fertilización de plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en su hábitat natural en diferentes edades. *Revista Forestal Baracoa* 33:587-598.

Salleh, A. S. 1997. Plantaciones forestales. La mejora de las funciones productivas de los bosques pluviales tropicales. *Unasyva* 48 (190-191): 38–46.

Sedjo, R. and A. Solomon. 1989. Greenhouse Warming: Abatement and Adaptation. *In: Crosson, P., J. Darmstadter, W. Easterling and N. Rosenberg (eds.). RFF Proceedings. Routledge. Washington, DC USA pp. 110-119.*

Shryock, B., K. Littke, M. Ciol, D. Briggs and R. Harrison. 2014. The effects of urea fertilization on carbon sequestration in Douglas-fir plantations of the coastal Pacific Northwest. *Forest Ecology and Management* 318:341–348.

Smaill, S. J., P. Clinton and L. Greenfield. 2008. Nitrogen fertiliser effects on litter fall, FH layer and mineral soil characteristics in New Zealand *Pinus radiata* plantations. *Forest Ecology and Management* 256(4): 564-569.

Van Kooten, G. C., C. S. Binkley and G. Delcourt. 1995. Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services. *American Journal of Agricultural Economics* 77(2): 365-374.

Vásquez, A. 2001. *Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia. Tolima. Universidad del Tolima. Tolima, Colombia. 304 p.*