

Análisis de los efectos y beneficios financieros y ecosistémicos de 10 especies forestales tratadas con regulador de crecimiento vegetal, asociadas a redes eléctricas en el Valle del Cauca – Colombia

Jonny Arias - Rentería¹
Gloria María Restrepo Franco²

Resumen

Se evaluó el efecto del regulador de crecimiento AUSTAR, cuyo ingrediente activo es el Paclobutrazol, sobre diez especies de árboles en interferencia con redes eléctricas, tratados con poda en el departamento del Valle del Cauca. Para lo cual, se estableció un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 3x2, con seis tratamientos conformados por la combinación de los factores del método de aplicación y la concentración del producto. Los métodos evaluados durante el presente estudio fueron: aspersión radicular, inyección en el tronco (Endoterapia con Arborjet) y aspersión foliar utilizando bomba de espalda. Las concentraciones evaluadas fueron 14.000 y 20.000 ppm. Las variables consideradas fueron el incremento en altura de los árboles medido en metros, y el peso de la biomasa seca al final de las mediciones. Se hicieron registros mensuales de las variables mencionadas hasta los 9 meses. Para validar las hipótesis planteadas, se hicieron análisis de varianza y comparaciones por el método de diferencias de Bonferroni. Para las variables que no cumplieron con los supuestos del Anava, se hicieron pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis. Se encontró que, para todas las especies, los efectos de los tratamientos son más significativos a medida que pasa un mayor tiempo después de la aplicación de los mismos. Las especies Matarratón, Samán, Swinglea, Mango, Totocal, Jobo, Caucho y Chiminango, mostraron de manera evidente y significativa una disminución en la longitud de los entrenudos. La Palma botella y el guásimo no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo. Por otra parte, a la semana 37 se observó que los tratamientos de inyección en el tronco y la aspersión radicular, con concentraciones de 20.000 ppm, tienden a generar un efecto inhibitor sobre el incremento en altura de manera generalizada. Igualmente, se observó que el método más efectivo a partir de una concentración de 20.000 ppm es el método de inyección en el tronco o endoterapia, con un crecimiento promedio del 10% con relación al testigo.

Palabras clave: árboles bajo líneas eléctricas, especies forestales, Paclobutrazol, regulación de crecimiento.

Abstract

The effect of the growth regulator AUSTAR, whose active ingredient is Paclobutrazol, on ten species of trees in interference with electrical networks, treated with pruning in the department of Valle del Cauca, was evaluated. For which, a randomized block design with a

¹ Jhonnarias3@hotmail.com. Estudiante Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales.

² grestrepo@umanizales.edu.co. Profesora Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales.

3x2 factorial arrangement was established, with six treatments made up of the combination of the factors of the application method and the concentration of the product. The methods evaluated during the present study were root spray, trunk injection (Endotherapy with Arborjet) and foliar spray using a back pump, the concentrations evaluated were 14,000 ppm and 20,000 ppm. The variables considered were the increase in height of the trees measured in meters, and the weight of the dry biomass at the end of the measurements. Monthly records of the aforementioned variables were made up to 9 months. To validate the proposed hypotheses, analysis of variance and comparisons were made using the Bonferroni method of differences, for the variables that did not meet the Anava assumptions, non-parametric Kruskal Wallis tests were carried out. It was found that, for all species, the effects of the treatments become more significant as more time passes after their application. That the species Matarratón, Samán, Guácimo, Swinglea, Mango and Chiminango, showed a clear and significant decrease in the length of the internodes. The Bottle Palm did not show significant differences between the treatments and the control, however, at week 37 it was possible to see that the treatments of injection in the trunk and foliar spray, with concentrations of 20,000 ppm, tend to generate an inhibitory effect on the increase in height in a generalized way, in the same way we can say that the most effective method from a concentration of 20,000 ppm is the injection method in the trunk or Endotherapy.

Keywords: Paclobutrazol, Growth regulation, forest species, trees under power lines.

1. Introducción

El árbol es un importante componente en los ecosistemas, ya que brinda diversos servicios tanto ecosistémicos como estéticos, recreativos sociales y paisajísticos. Además, contribuye con la regulación de la temperatura, purificación del aire, entre otros. La relación entre desarrollo y medio ambiente permanece en diferentes conflictos, en este sentido el desarrollo en infraestructura siempre genera impactos sobre el medio natural (Llanos 2022).

El conflicto entre árbol y redes de conducción eléctrica es preocupante debido a que las redes son aéreas y están en áreas tanto rurales como urbanas, donde hay presencia de árboles, los cuales presentan un rápido crecimiento y se interceptan con el cableado. Para lo cual se genera un mantenimiento al arbolado mediante podas técnicas y una vez son sometidos a dicho proceso, estos árboles aceleran su crecimiento, razón por la cual es necesaria la búsqueda de alternativas para el control de rebrotes después de la poda (Llanos 2022). Sin embargo, el continuo crecimiento por especie supera las posibilidades presupuestales de las empresas administradoras de redes, para mantenerlas libres de obstáculos, como es el caso de la empresa de Energía del Pacífico (EPSA – CELSIA – CETSA) en el departamento del Valle del Cauca, quien se encarga del mantenimiento continuo del arbolado que se ubica bajo las redes.

Cada especie tiene una velocidad de desarrollo diferente, y se requieren unos costos y medidas como la suspensión del sistema eléctrico para su mantenimiento. Este rápido crecimiento genera la afectación continua de los árboles asociados a las redes, ya que estos permanentemente reciben radiación eléctrica, limitando su desarrollo fisiológico, lo que desencadena bajas importantes en las tasas fotosintéticas y por ende la producción de oxígeno disminuye, hay reducción de las capacidades de producción fenológicas (flores y frutos), disminuyendo los beneficios ecosistémicos que estas especies prestan a los corredores biológicos y al medioambiente (ISA 2011). Debido a que dicho mantenimiento debe

2.2. Tipo de estudio

Esta investigación es de carácter cuantitativo, ya que recopila y analiza datos y mediciones específicas para determinar las hipótesis planteadas.

2.3. Diseño experimental

El diseño del estudio fue al azar con arreglo factorial, mediante la combinación de dos factores, tres niveles del factor método (aspersión radicular, inyección árbol-jet y aspersión foliar) y dos del método concentración (14.000 ppm y 20.000 ppm). Cada especie se manejó como un diseño independiente. Las variables de respuesta para determinar el efecto de los tratamientos fueron altura, longitud de entrenudos y diferencia de pesos después de la primera poda y la poda final, con lo que se comparó el efecto de acuerdo con la cantidad de biomasa seca producida por el árbol.

2.4. Análisis estadístico

Se implementó un diseño en bloques al azar generalizado, en el cual las diez especies constituyeron los bloques. Los tratamientos se generaron mediante un arreglo factorial en el que los factores fueron la concentración de Paclobutrazol con dos niveles (14.000 ppm y 20.000 ppm) y método de aplicación (1: Inyección en el tronco; 2: Aspersión foliar; y 3: Aspersión radicular). Por consiguiente, se generaron seis tratamientos, los que se asignaron a tres repeticiones dentro de cada bloque. Adicionalmente, se incluyeron tres individuos que fueron evaluados como testigos absolutos. Los registros se organizaron en el programa SPSS, con el cual se realizaron los respectivos análisis descriptivos, prueba de normalidad y homogeneidad de las varianzas para las variables de estudio.

2.5. Identificación del método y la concentración más efectivos del regulador de crecimiento

De la base de datos de los inventarios forestales al cien por ciento de CELSIA Y GESILVI S.A.S., y las programaciones de poda, se eligieron las diez especies con mayor número de intervenciones o ciclos de poda por año, así como las especies con mayor frecuencia y conflicto por contacto con las redes. En este sentido, se escogieron árboles con alturas entre los seis y diez metros, y con buen estado fitosanitario, con el fin de tener individuos con características fenotípicas semejantes (Tabla 1). Los especímenes se sometieron a una poda técnica inicial con un porcentaje equivalente entre todos los individuos, posteriormente fueron sometidos a los diferentes tratamientos y métodos de aplicación. Se emplearon placas propias de la empresa EPSA, para la marcación. Se tomaron mediciones semanales durante seis meses.

Tabla 1. Especies seleccionadas para ser tratadas con regulador de crecimiento.

Sp.	Nombre común	Nombre científico
1	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>
2	Mataratón	<i>Gliricidia sepium</i>
3	Caucho	<i>Ficus benjamina</i>
4	Palma botella	<i>Roystonea regia</i>
5	Totocal	<i>Achatocarpus nigricans</i>

6	Mango	<i>Manguifera indica</i>
7	Chiminango	<i>Pithecellobium dulce</i>
8	Samán	<i>Pithecellobium saman</i>
9	Swinglea	<i>Swinglea glutinosa</i>
10	Jobo	<i>Spondias purpurea</i>

En la medición de las variables de altura, se utilizó un elemento de medición moderno (Nikon forestry pro), el cual es un dispositivo de medición laser, que permite tomar registros precisos de la altura, pendiente, distancia, entre otras variables (Figura 2).



Figura 2. Medición de alturas de los árboles.

2.5.1. Marcación de los individuos

Se marcaron los individuos con plaquetas para garantizar el seguimiento, lo que facilitó la ubicación y la medición mensual de cada uno de ellos. Para este diseño se indicó en la plaqueta, la numeración por individuo, las iniciales de la especie con su respectiva indicación de concentración y método, además de la georreferenciación, realizada con la ayuda de un GPS, que brinda la ubicación exacta de cada individuo.



Figura 3. Plaquetas de marcación de los árboles y GPS para georreferenciación.

Se tomó nota de las variables altura y DAP antes de iniciar con la poda técnica, como datos del punto de partida, para el posterior análisis comparativo (Figura 4).



Figura 4. Registro de variables antes de la poda técnica.

2.5.2. Poda de árboles

La poda se realizó después del proceso de plaquetado, con ayuda de la cuadrilla forestal de GESILVI S.A.S., con todas las medidas técnicas y de protección para realizar dicha actividad, basándose en los aspectos técnicos y el criterio de no cortar más del 30% de la copa del árbol a podar, contenidos en el plan maestro de silvicultura para poda de árboles, así como los criterios normativos definidos en la ANSI Z 133.1 y la ANSI A 300, adoptados por la ISA (Sociedad Internacional de Arboricultura), para evitar daños irreversibles en los árboles intervenidos.



Figura 5. Ejecución de actividades de poda técnica a los árboles objeto de estudio.

2.5.3. Métodos de aplicación

Se aplicó el regulador de crecimiento vegetal Paclobutrazol, en dos concentraciones (14.000 y 20.000 ppm). Se tomó la medida exacta del producto con la ayuda de una probeta graduada, de igual manera se utilizó un kit antiderrame durante todo el proceso para evitar vertimientos y contaminación al suelo y a las fuentes hídricas cercanas (Figura 6), finalmente, se aplicaron los tres métodos:



Figura 6. Dosificación del producto por cada concentración para aplicación con los tres métodos.

- **Aspersión foliar:** para este método de aplicación se usó una bomba de espalda de 20 litros, el operador realizó la aplicación ascendiendo al árbol en estudio para garantizar que la aspersión abarcara la mayor cantidad posible de área de la copa, con el objetivo que el producto cayera directamente en las hojas del árbol y en las zonas donde se realizaron los cortes con las heridas abiertas (Figura 7).



Figura 7. Aplicación del regulador de crecimiento mediante el método de aspersión foliar.

- **Aspersión radicular:** para la aplicación del producto mediante la aspersión radicular, se limpió y removió el suelo alrededor del tronco de los árboles evaluados, con el fin de garantizar que la solución quedara suspendida alrededor de las raíces de cada árbol y con la mezcla previamente preparada, se procedió a rociar el suelo con la solución con el regulador de crecimiento vegetal (Figura 8).



Figura 8. Aplicación del regulador de crecimiento por aspersión radicular.

- **Endoterapia o inyectología:** teniendo en cuenta que este es un método más sofisticado, esta aplicación fue realizada por un arborista certificado por la ISA, con certificado de Endoterapia vegetal emitido por la ACA (Asociación Colombiana de Arboricultura), para evitar dañar los árboles o causarles infecciones. Para esta aplicación se utilizó un

taladro para perforar en varios lados del tronco, dependiendo de la cantidad de tallos presentes en la planta y del diámetro del fuste, se realiza una perforación en cada uno de ellos de tal forma que se pudieran instalar los sellos, los cuales son totalmente herméticos y evitan el paso de agua y suciedad hacia adentro del fuste, y a su vez, facilitan la aplicación del producto con el Arborjet, lo que garantiza la translocación del producto desde el área tratada hasta distantes partes dentro del árbol (Figura 9), por ejemplo el tronco, las raíces y el follaje, a lo que se le conoce como inyección sistémica (UACH, 1996).



Figura 9. Aplicación del regulador de crecimiento con el método de Endoterapia.

2.5.4. Determinación de variables

Después de realizar la poda se efectuaron los registros de las diferentes variables, referentes a la cantidad de ramas podadas, peso de los residuos vegetales.

- **Recolección de muestras de biomasa fresca:** se recolectaron las muestras de biomasa las cuales incluyeron una muestra de hojas frescas y tres troncos de 10cm de largo. Se tuvo en cuenta la rotulación de cada una de las muestras (Figura 10).



Figura 10. Pesaje y toma de muestras de biomasa fresca.

- **Peso de muestras de biomasa seca:** este procedimiento se realizó después de tener las muestras pesadas en fresco, el cual fue prioritario para completar el procedimiento para el cálculo de carbono.
- **Seguimiento al control de altura:** se realizó el seguimiento de crecimiento de los rebrotes y se anexó la altura del primer mes después de la semana 26, de acuerdo con el tratamiento aplicado.

- **Seguimiento mensual de las especies en estudio:** se realizó un seguimiento mensual durante seis meses a las especies, para determinar variaciones.

2.6. Análisis financiero comparativo con proyección a 30 años

Se realizó un análisis comparativo de los costos de mantenimiento de los árboles asociados a redes eléctricas, para lo cual se tomaron los inventarios forestales de todos los circuitos mencionados, se totalizaron los árboles y se identificaron las especies. Una vez se obtuvieron los resultados del método de aplicación más eficiente y la concentración más efectiva a aplicar de Paclobutrazol, se extrapolaron estos valores a todos los árboles del circuito para determinar los costos finales de tratar la totalidad de la vegetación con regulador de crecimiento, y estos valores se compararon con los costos actuales de mantenimiento sin utilizar el regulador de crecimiento. Lo anterior, con el fin de identificar las diferencias entre ambos métodos, conocer la disminución de costos en que incurriría la empresa de energía CELSIA en la prestación del servicio, y definir cuánto ahorran los ciudadanos en las tarifas de energía. Estos valores se proyectaron a 30 años, para determinar su rentabilidad a largo plazo.

2.7. Cuantificación financiera de los beneficios ecosistémicos

Teniendo en cuenta que dentro de las hipótesis planteadas, y según las revisiones de literatura, se plantea que a medida que los árboles retardan su crecimiento pueden mejorar o incrementar su tasa de fijación de biomasa y carbono, se espera que los árboles puedan mejorar la tasa fotosintética, sus aspectos fenológicos y los servicios ecosistémicos, para lo cual se cuantificaron dichos servicios como son:

- Captura y fijación de carbono CO₂.
- Eliminación de la contaminación (PM 2,5; PM 10; Ozono O₃; monóxido de carbono CO; nitratos NO₂; sulfatos SO₂).

El programa del servicio forestal de los Estados Unidos ITREE, se utilizó como referencia para realizar las estimaciones y proyecciones cuantificables de los servicios ecosistémicos de los árboles objeto de estudio, permitiendo monetarizar dichos beneficios con proyección futura (30 años), determinando su importancia en términos de sostenibilidad, su alineación con el desarrollo sostenible y la protección medioambiental.

3. Resultados y discusión

Con la aplicación del Paclobutrazol, se obtuvieron efectos positivos en la regulación del crecimiento de las especies evaluadas, coincidiendo con lo expuesto por (Contreras et al 2012) el cual sostiene que el uso de Paclobutrazol tiene un efecto representativo en la inhibición de brotes vegetativos.

3.1. Identificación del método y la concentración más efectivos del regulador de crecimiento

En la representación de los valores del incremento promedio en altura de los árboles de matarratón, los mejores resultados de inhibición del crecimiento en altura para esta especie fueron para el método de inyección en el tronco, con una concentración de 20.000 ppm. Este resultado se mostró a lo largo de las cuatro mediciones en el tiempo (ver tabla 2).

Tabla 2. Comportamiento del incremento en altura de individuos de *G sepium* tratado con el fitoregulator aplicado con tres métodos y dos concentraciones.

Concentración	Método	Semana 9		Semana 22		Semana 31		Semana 37	
		Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
14.000	Testigo	0,81	0,43	1,27	0,35	2,27	0,64	2,57	0,90
	A. radicular	1,63	0,52	2,73	0,84	3,07	0,70	3,60	0,26
	Inyección	2,33	0,40	2,87	0,15	3,70	0,20	4,30	0,46
	A. foliar	1,53	0,45	1,78	0,63	2,70	1,01	3,20	0,52
20.000	A. radicular	0,73	0,42	1,40	0,61	1,63	0,59	2,20	0,26
	Inyección	0,18	0,39	0,78	0,28	1,40	0,52	0,3	0,12
	A. foliar	0,66	0,42	1,07	0,55	2,07	1,00	2,53	1,12

DE: Desviación Estándar.

Al analizar el crecimiento en altura de los árboles a la semana 9 se encontraron diferencias altamente significativas entre las concentraciones (Sig.=0,000), siendo la concentración de 20.000 ppm la que mostró el menor crecimiento en promedio (0,52 m), seguido del testigo (0,80 m). Igualmente, la interacción método*concentración mostró diferencias significativas (Sig.=0,031), encontrándose que el método de inyección en el tronco a una concentración de 20.000 ppm fue la fórmula que menor crecimiento en altura reportó con 0,18 m, seguido de la aspersion radicular (0,66 m). Para la semana 22 se encontraron diferencias altamente significativas entre las concentraciones (Sig.=0,007), siendo la concentración de 20.000 ppm la que mostró el menor crecimiento en promedio (1,18 m), seguido del testigo con 1,4 m. En esta medición no se reportaron diferencias entre los métodos (Sig.=0,511) ni para la interacción método*concentración (ver tabla 2). En la semana 31 se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones (Sig.=0,014), siendo la concentración de 20.000 ppm la que mostró el menor crecimiento en promedio (1,74 m) seguido del testigo con 2,24 m. En esta medición no se reportaron diferencias entre los métodos (Sig=0,840) ni para la interacción método*concentración (Sig=0,223). Para la semana 37, se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones (Sig=0,007), siendo la concentración de 20.000 ppm la que mostró el menor crecimiento en promedio con 1,33 m, seguido del testigo con 3 m., reportándose diferencias significativas entre los métodos (Sig=0,238) y para la interacción método*concentración (Sig=0,056). Sin embargo, el método con el que se obtuvo altura menor fue con la inyección en el tronco, con la aplicación de 20.000 ppm, con una altura promedio de 0,3 m (ver figura 11).

Los resultados observados en la especie matarratón en cuanto al incremento en altura, arrojaron que a la semana 37 el testigo sin la aplicación de ningún tipo de concentración del producto, presentaba un crecimiento generalizado de las ramas nuevas (rebrotos) de 3 metros de altura, por su parte, el método de aplicación foliar con una concentración de 14.000 ppm, presentó un crecimiento promedio de 2,5 metros de altura, mientras que el mismo método

con una concentración de 20.000 ppm, presentó un incremento promedio de 1,4 metros de altura. También se pudo evidenciar que el método de aplicación radicular con la concentración de 14.000 ppm, presentó una mayor reducción generalizada del crecimiento en altura que el método foliar, ya que su incremento promedio fue de 2 metros de altura a la semana 37, este mismo método con la concentración de 20.000 ppm, presentó una reducción importante en su crecimiento, toda vez que los rebrotes crecieron solo 0,8 metros de altura. De los tres métodos evaluados, el más eficaz para reducir el crecimiento en alturas de los árboles estudiados, fue el de inyección xilemática, ya que presentó crecimiento reducido en comparación con los demás métodos estudiados. Para el caso de la concentración de 14.000 ppm, se presentó un incremento de tan solo un metro de altura. Al incrementar la concentración a 20.000 ppm, se evidenció la máxima reducción registrada en el estudio, con un incremento promedio de 0,3 metros a la semana 37 (Figura 12). Lo que contrasta con los resultados encontrados por Felles et al (2015), los cuales muestran estimulación del crecimiento a medida que la concentración del producto aumenta, esto puede ser debido al método de aplicación utilizado.

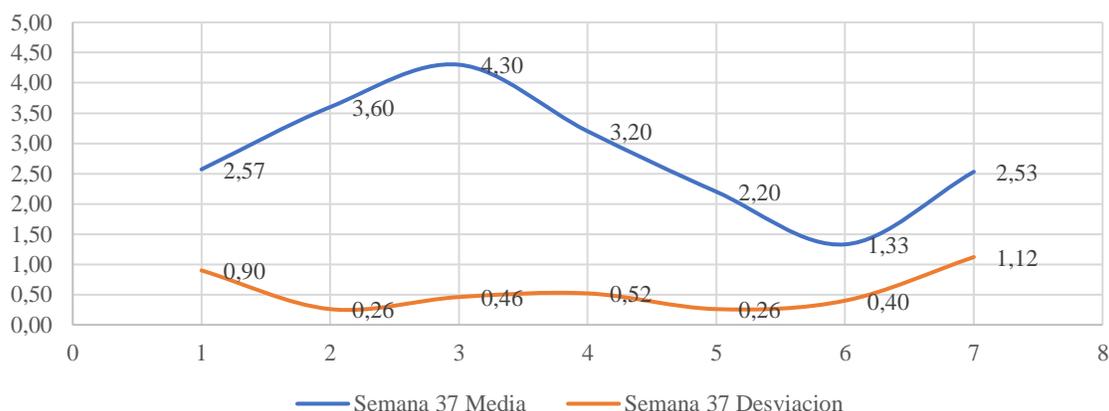


Figura 11. Comportamiento del incremento en altura de individuos de *G. sepium* tratados con Paclobutrazol, bajo tres métodos de aplicación y dos concentraciones del producto.

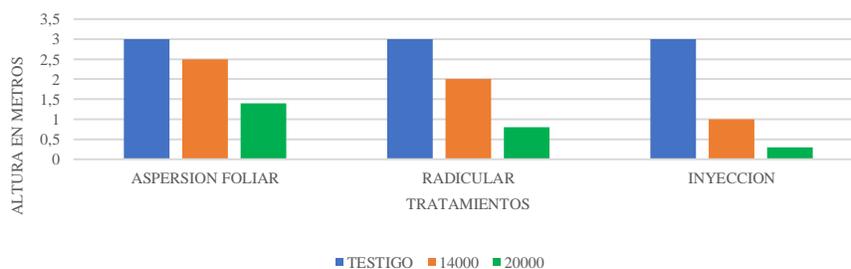


Figura 12. Comportamiento del incremento en altura de individuos de *G. sepium* tratados con Paclobutrazol a la semana 37, bajo tres métodos de aplicación y dos concentraciones del producto.

En este sentido, la combinación más efectiva entre método de aplicación y concentración del producto fue inyección xilemática a una concentración de 20.000 ppm, ya que se observó un gran acortamiento de los entrenudos, presentando una reducción en la longitud de los brotes y de entrenudos, lo cual se reflejó en una menor tasa de crecimiento día (Padilla et al 2017). En el caso del testigo los entrenudos fueron elongados con aproximadamente 10 cm

de largo, mientras que con el método de inyección a la concentración de 20.000 ppm, el crecimiento fue de 1 cm en los entrenudos, dando un aspecto apiñado o aglomerado (Figura 13). La aplicación de este método de manera generalizada a los circuitos estudiados podría reducir enormemente los ciclos de podas de mantenimiento al arbolado asociado a las redes eléctricas.



Figura 13. Comparación del incremento de altura entre el testigo y el método de inyección con una concentración de 20.000 ppm en Matarratón (*G. sepium*).

Los resultados observados en la especie matarratón se generalizan para 8 de las 10 especies, en las cuales se puede apreciar claramente que el método y la concentración más efectivos son inyección xilemática a 20.000 ppm, con una importante reducción del crecimiento de los rebrotes y de la copa en general (hasta del 90%), de los testigos en la semana 37 (Figura 14). En este sentido las especies Matarratón, Caucho, Totocal, Mango, Chiminango, Saman, Swinglea y Jobo presentan un bajo desarrollo de brotes como respuesta al ser tratadas con el regulador de crecimiento.



Figura 14. Comparación del crecimiento en altura de árboles de matarratón tratados con Paclobutrazol a 20.000 ppm respecto al testigo.

En la figura 14, se puede apreciar el bajo crecimiento generalizado de los brotes en toda la copa de árboles de matarratón, que fueron tratados con Paclobutrazol a 20.000 ppm con el método de

inyección, respecto con los testigos, los cuales, en el mismo tiempo, mostraron un crecimiento mayor, más acelerado, y por ende más volumen de copa. Además, se observó una mejora importante en el desarrollo fenológico, ya que se pudo percibir en la semana 21 la aparición de flores, y frutos en la semana 26 respectivamente, mejorando la cantidad y el volumen de los frutos en producción (Figura 15), lo cual coincide con lo planteado por (Contreras et al 2012) el cual sostiene que la aplicación de un antigiberelico como Paclobutrazol tiende a dar un resultado favorable al momento de hacer un plan de inducción floral en mango.



Figura 15. Mejoramiento de las condiciones fenológicas de las especies tratadas con Paclobutrazol a 20.000 ppm.

Por otra parte, se encontró que en las especies Guásimo (*G. ulmifolia*) y Palma botella (*R. regia*), los resultados fueron muy diferentes, ya que la respuesta ante el regulador de crecimiento fue nula, y en el caso específico del Guásimo, genera el efecto contrario, ya que estimula el crecimiento de los nuevos brotes, esto debido a que las mediciones demuestran crecimiento por encima del testigo, lo cual es similar a los resultados encontrados por Felles et al (2015) en cultivo de aguacate, donde a medida que se incrementó la concentración se estimuló el crecimiento, logrando un efecto contrario al deseado. Por lo cual, en estas dos especies se hace necesario continuar investigando, para encontrar una concentración y método efectivos. Con el método de inyección xilemática y la concentración de 20.000 ppm, se observó que el Guásimo presenta un incremento promedio de altura de 4,1 metros en la semana 37, mientras que la Palma botella, presentó un incremento de 3,4 metros de altura (Figuras 16 y 17).

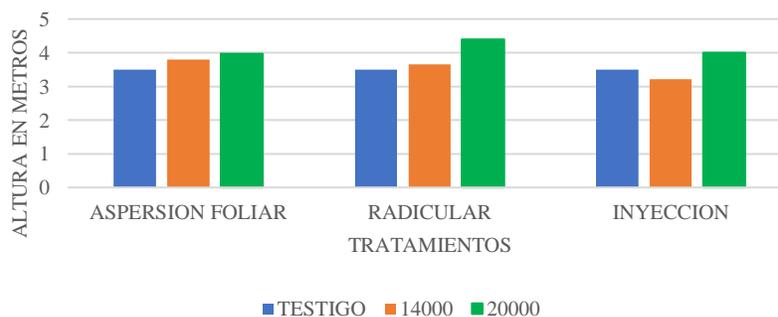


Figura 16. Comportamiento del incremento en altura de individuos de Guásimo a la semana 37, tratados con Paclobutrazol, bajo tres métodos de aplicación y dos concentraciones del producto.



Figura 17. Crecimiento acelerado de Guásimo (*G. ulmifolia*) y Palma botella (*R. regia*) tratadas con Paclobutrazol a 20.000 ppm con el método de inyección.

3.2. Identificación y cuantificación financiera de los beneficios ecosistémicos que pueden prestar las especies tratadas con el regulador de crecimiento con proyección a 30 años

Después de estimar el almacenamiento y fijación de carbono, así como los diferentes beneficios ecosistémicos que pueden brindar las especies asociadas a redes eléctricas tratadas con el regulador de crecimiento Paclobutrazol, se encontró que la ganancia en peso de la biomasa seca, reportó diferencias altamente significativas ($\text{Sig}=0,000$) entre las concentraciones del Paclobutrazol, así como para la interacción método*concentración ($\text{Sig}=0,000$), siendo la concentración de 20.000 ppm la que reportó el menor valor 131 Kg bajo el método de aspersión radicular, seguido por el testigo 174,8 Kg. La Tabla 3 y la Figura 18, muestran los resultados con respecto a esta variable. Se aprecia que los árboles a los que se le aplicó el tratamiento, presentaron menor área foliar, pero mayor biomasa acumulada, en comparación con los árboles testigo. Esto se debe a que el Paclobutrazol (regulador de crecimiento) estabiliza la reacción del árbol al estrés al que se expone, generando brotes nuevos con entrenudos cortos y con mayor peso, esto coincide con el estudio realizado por (Watson, 2001, 2006) en el cual se encontró que la aplicación de Paclobutrazol incrementa el contenido de carbohidratos, aumentando así la biomasa almacenada. En cuanto al almacenamiento de carbono, los árboles con tratamiento presentaron un mayor almacenamiento de carbono en comparación con los árboles testigos, ya que los brotes pesados que se generan con la aplicación del Paclobutrazol requieren altas cantidades de carbono para la alta cantidad de biomasa que caracteriza a los brotes de entrenudos cortos que genera.

Tabla 3. Biomasa seca en kilogramos de las ramas de árboles de *G. sepium*, a las 37 semanas de ser podados y tratados con Paclobutrazol bajo tres métodos de aplicación y dos concentraciones.

Concentración	Método	Media en Kg	Desviación estándar
Testigo	Testigo	174,8	40,3
14.000	A. radicular	479,9	99,8
	Inyección	266,6	89,0
	A. foliar	392,9	202,7
20.000	A. radicular	131,9	73,8
	Inyección	234,7	63,4
	A. foliar	187,1	52,2

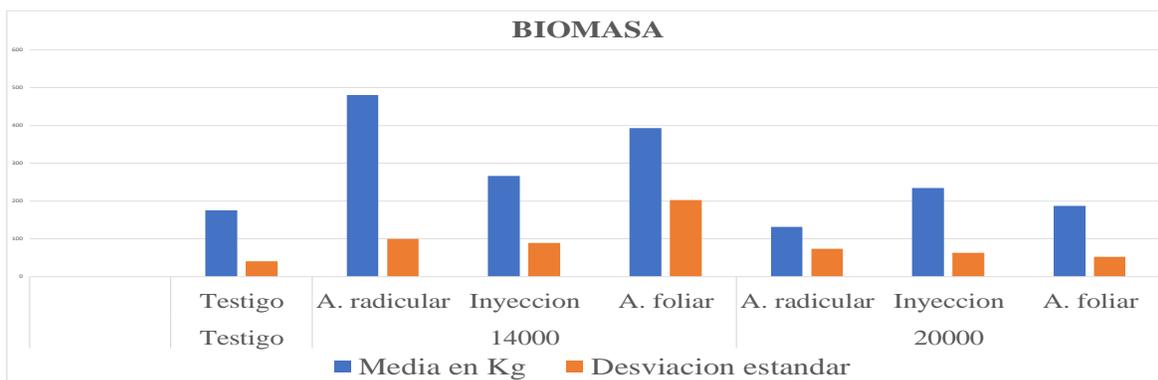


Figura 18. Comportamiento de la biomasa seca de las ramas de *G. sepium*, a la semana 37 de ser podados y tratados con Paclobutrazol bajo tres métodos de aplicación y dos concentraciones.

3.2.1. Secuestro de carbono

Los árboles a los que se les realizó tratamiento, almacenan más carbono que los árboles testigo, los cuales durante toda la investigación permanecieron sin aplicación del regulador. Esto se debe a que, el regulador causa en los árboles que el crecimiento de los rebrotes sea pausado y que responda lentamente al estímulo y al estrés de la poda. Estos brotes al tener mayor tiempo para crecer y desarrollarse, acumulan mayor biomasa y son más pesados que los rebrotes normales, lo que incrementa directamente la capacidad de estos árboles de remover CO₂ atmosférico, capturarlo y transformarlo en azúcares e incorporarlo en su biomasa (Watson, 2001, 2006), lo que permite alinear esta investigación con el desarrollo sostenible y la protección medio ambiental.

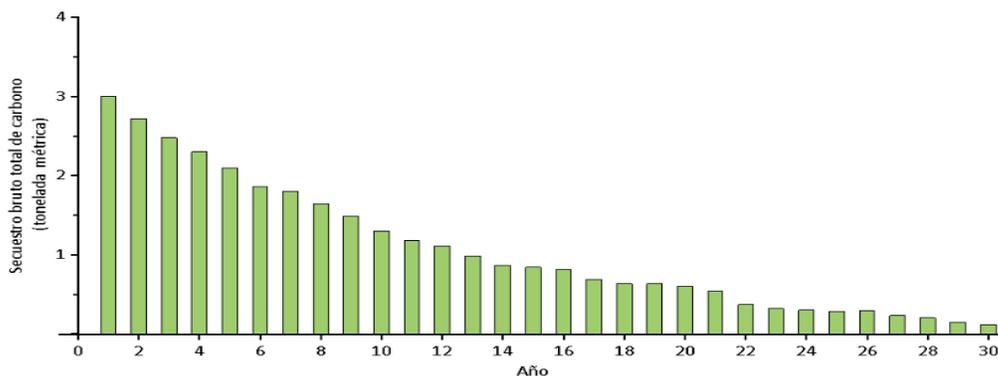


Figura 19. Secuestro total de carbono (Tonelada métrica) por año, arboles testigos proyectada. a 30 años (Procesamiento en software I-Tree Eco V6). Fuente: autores.

Como se aprecia en la figura 19, el secuestro total de carbono, desde el año 1 (año presente) empieza a disminuir y mantiene la tendencia hasta los 30 años para los árboles testigos; pasando de 3 Toneladas métricas de carbono en el año cero (0), lo que equivale a un pago por servicio ambiental de \$1.235.948, a 0,12 Toneladas métricas en el año 30 que equivalen a un PSA de \$148,314. Esto se debe a que los individuos testigo presentan un alto nivel de mortalidad, gracias a las podas periódicas de cada 3 meses, las cuales desgastan energéticamente al individuo perdiendo vigor y vitalidad, dejándolos susceptibles a contraer

plagas y enfermedades que disminuyen su longevidad y deterioran su estado fitosanitario (ISA 2011). Además, todo el material que se desprende en la gran cantidad de podas periódicas, vuelve a desprender el carbono almacenado, por lo que a los 30 años, los árboles testigos habrán secuestrado un total acumulado de 31,89 Ton, lo que equivale a un pago por servicio ambiental de \$19.707.190,86. Por otra parte, se pudo observar que ocurre todo lo contrario en los individuos tratados con el regulador de crecimiento, ya que se logra incrementar la capacidad de fijación y secuestro de carbono a medida que pasa el tiempo (30 años), esto es gracias a que los rebrotes tienen mayor tiempo para desarrollarse, almacenar biomasa y por ende carbono (Arias 2009), como se puede apreciar en la figura 20.

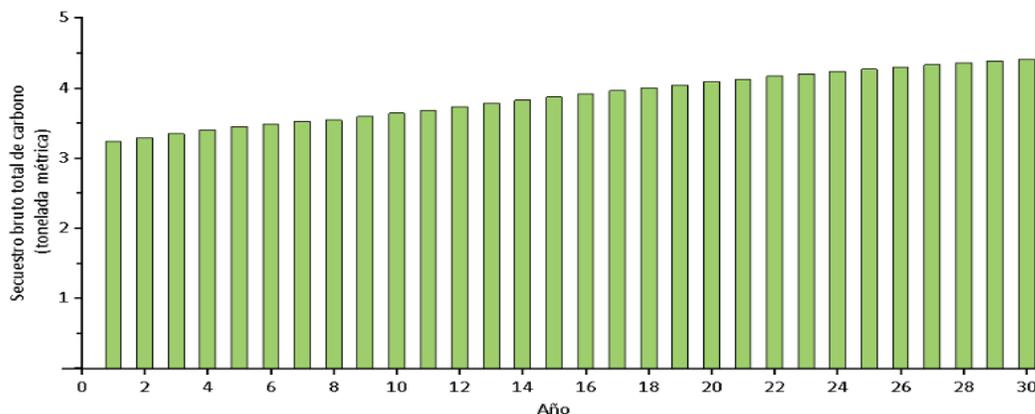


Figura 20. secuestro total de carbono (Tonelada métrica) por año, árboles tratamiento proyectada a 30 años (Procesamiento en software I-Tree Eco V6). Fuente: autores.

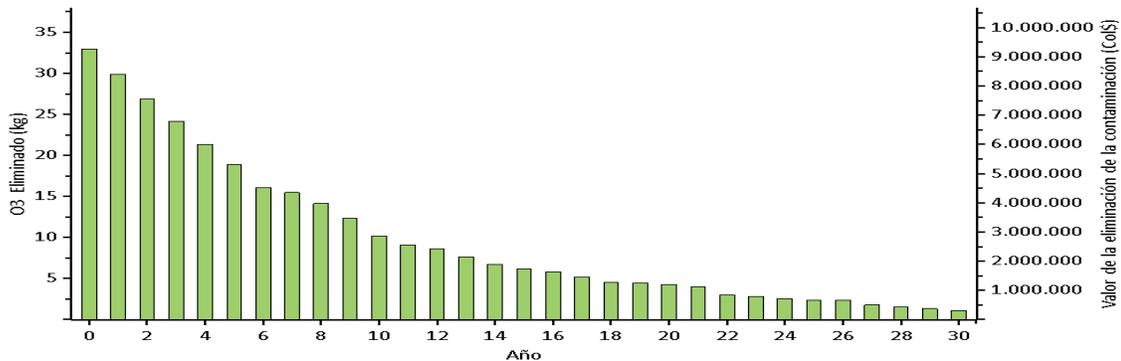
Dado que los árboles bajo tratamiento se podan cada 18 meses, es necesario retirar menor porcentaje de copa. En la figura 20; se comprueba dicho comportamiento cuando se aprecia que desde el año 1, la acumulación de carbono empieza a aumentar, pasando de 3,24 Ton que equivalen a un PSA de \$2.002.235,76 a 4,41 Ton en el año 30, que equivalen a un PSA de \$2.725.265,34, y un acumulado de 116,24 Ton en los 30 años, lo que equivale a un pago por servicio ambiental de \$71.833.297,76.

3.2.2. Eliminación de Ozono

Aunque el ozono O₃, es un gas constituyente de la atmósfera y que se encuentra en el aire de manera natural, también es cierto, que el ozono superficial es un gas de efecto invernadero (GEI) que absorbe y emite radiación infrarroja, con lo cual contribuye al calentamiento de la tropósfera, mientras que en la baja atmósfera y la superficie, el ozono se constituye en un contaminante nocivo para la salud (IDEAM 2019). Con la presente investigación se pudo evidenciar que, los árboles tratados con el regulador, tienen la capacidad de eliminar de la atmósfera mayor cantidad de ozono O₃, que los árboles testigos.

Eliminación de Ozono (O₃) árboles testigo: como se aprecia en la Figura 21 los árboles testigos presentan en el año uno (1) la tendencia a la disminución de la capacidad para eliminar el Ozono (O₃), pasando de eliminar en el año cero, 33 Kg de O₃ equivalentes a \$9.275.175,44 a eliminar en el año 30; 1,10 Kg de O₃ equivalentes a \$312.226,83. Estos dos puntos máximos y mínimos, muestran la tendencia de los árboles testigos a disminuir su capacidad para brindar este servicio ecosistémico. Toda vez que a medida que los árboles

ganar edad su capacidad de producir biomasa se ve reducida y también por procesos de senescencia disminuye su biomasa. Según los cálculos de proyección, a los 30 años (en el año 2052), los árboles testigo, habrán eliminado un total acumulado de 307,98 Kg de Ozono



(O₃), que equivalen a un pago por servicio ambiental (PSA) acumulado de \$86.546.770,28.

Figura 21. Eliminación de Ozono (O₃) kg por año, arboles testigo proyectado a 30 años (Procesamiento en software I-Tree Eco V6.) Fuente: autores.

Eliminación de Ozono (O₃) arboles con tratamiento: los árboles a los que se les aplicó el regulador de crecimiento, como se aprecia en la figura 22, logran desde el año cero (0) eliminar 52,30 Kg de Ozono (O₃) equivalentes a \$14.687.482,82 y presentan un ascenso hasta lograr eliminar en el año 30, la cantidad de 71,20 Kg de O₃ que equivalen a \$20.024.182,46. El Paclobutrazol, permite que estos ejemplares arbóreos tengan menores intervenciones silviculturales y por ende una mayor estabilidad vegetativa que favorece la eliminación continua de contaminantes (Martinez etal 2022), por lo cual su tasa de eliminación, es mayor que la de los árboles testigos, tratados con el método tradicional. En este sentido, los árboles bajo tratamiento habrán eliminado para el año 30, un acumulado de 1.909,30 Kg de O₃, que equivalen a \$536.643.197,43.

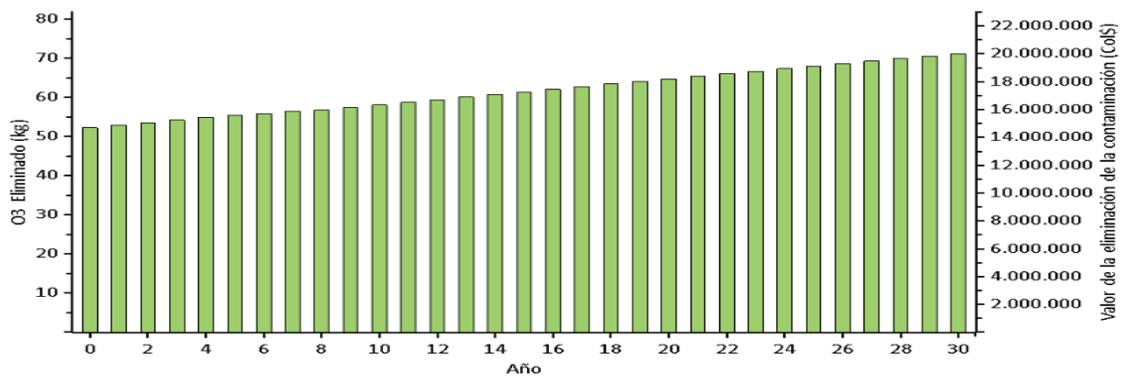


Figura 22. Eliminación de Ozono (O₃) kg por año, arboles tratamiento proyectado a 30 años (Procesamiento en software I-Tree Eco V6). Fuente: autores.

3.2.3. Eliminación de Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Eliminación de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) en árboles testigos: como se aprecia en la figura 23, los árboles testigos presentan desde el año uno la tendencia a la disminución en la capacidad para eliminar el dióxido de nitrógeno (NO₂), pasando de eliminar en el año cero, 4,50 Kg de NO₂ equivalentes a \$190.584,89, a eliminar en el año 30; la cantidad de 0,20 Kg de NO₂ equivalentes a \$6.415,59. Estos puntos máximos y mínimos, muestran la tendencia de los árboles testigos a disminuir su capacidad para brindar este servicio ecosistémico. Esto se debe a los ciclos de poda cortos (4 anuales) y que a medida que los árboles ganan edad su disposición a producir biomasa disminuye, además por procesos de senescencia disminuye su biomasa (Martínez et al 2022). A los 30 años (En el año 2052) los árboles testigo, habrán eliminado un acumulado de 42,40 Kg de NO₂ que equivalen a \$1.778.349,80.

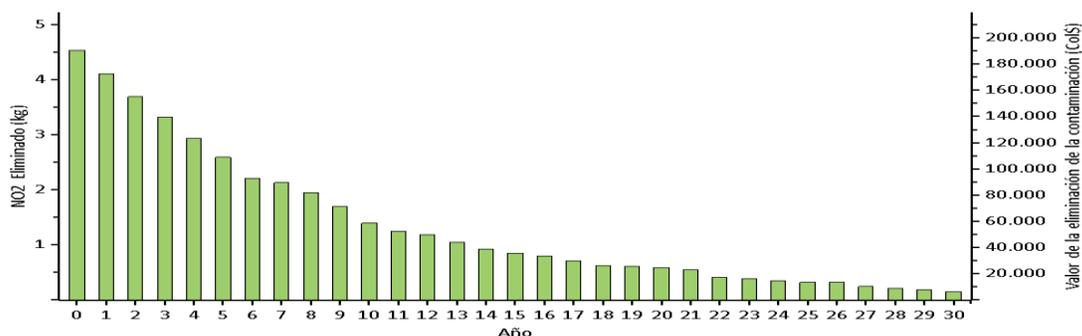


Figura 23. Eliminación de Dióxido de nitrógeno árboles testigo proyectada a 30 años (Procesamiento en software I-Tree Eco V6). Fuente:autores.

Eliminación de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) en árboles con tratamiento: los árboles bajo tratamiento con Paclobutrazol, como se aprecia en la figura 24, logran desde el año cero (0) eliminar 7,20 Kg de óxidos de nitrógeno equivalentes a \$302.842,32, esta tendencia se muestra en ascenso hasta lograr eliminar en el año 30, la cantidad de 9,80 Kg de NO₂ que equivalen a \$412.888,14. El Paclobutrazol, permite que estos árboles tengan menores intervenciones silviculturales, y por ende una mayor estabilidad vegetativa que favorece la eliminación continua de contaminantes (Barrera 2019). Para el año 30 (2052), estos árboles habrán eliminado un acumulado de 263,50 Kg de NO₂, que equivalen a \$11.065.086,83.

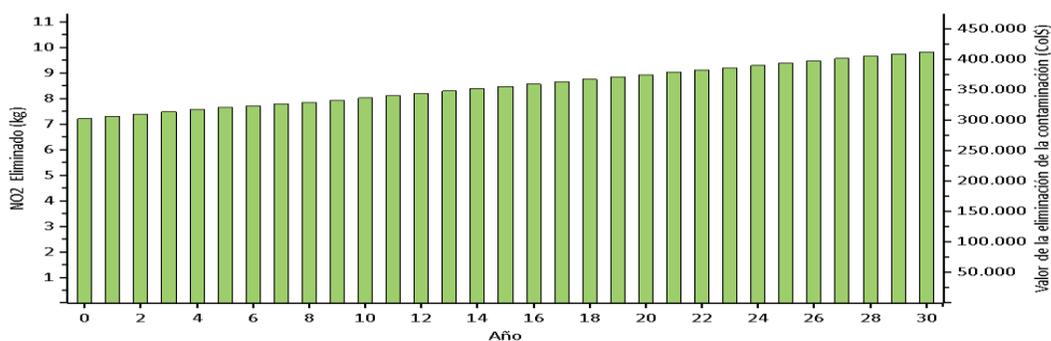
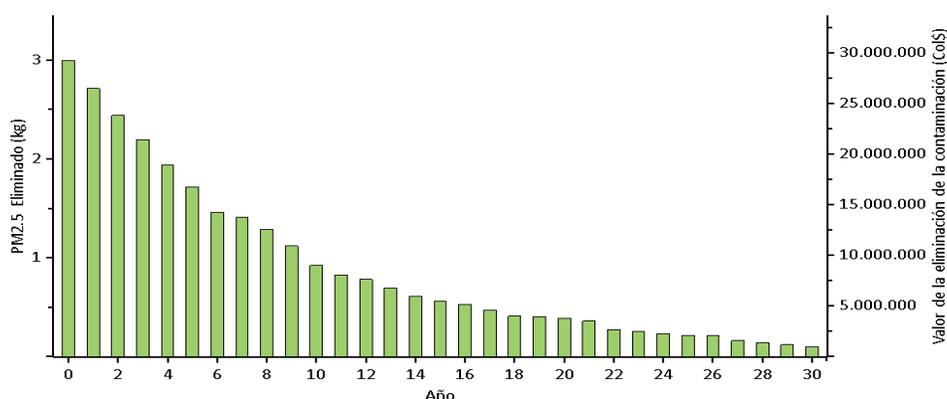


Figura 24. Eliminación de dióxido de nitrógeno árboles tratamiento proyectada a 30 años (Procesamiento en software I-Tree Eco V6) .Fuente:autores.

3.2.4. Eliminación de PM 2,5

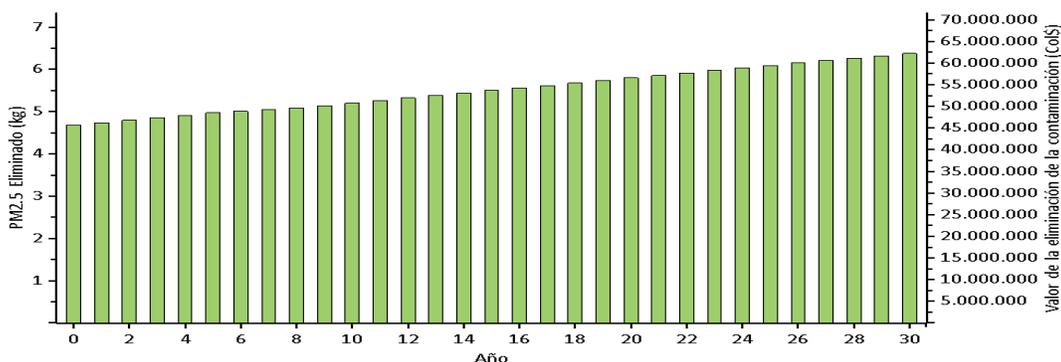
Eliminación de PM 2,5 de árboles testigo: como se aprecia en la figura 25, los árboles testigos presentan desde el año uno la tendencia a la disminución en la capacidad para eliminar el PM 2,5 pasando de eliminar en el año cero, 3 Kg de PM2,5 equivalentes a \$29.246.539,99, a eliminar en el año 30, la cantidad de 0,10 Kg de PM2,5 equivalentes a \$984.515,55. Estos puntos máximos y mínimos, muestran la tendencia de los árboles testigos a disminuir su capacidad para brindar este servicio ecosistémico. Esto se debe a que a medida que los árboles ganan edad su disposición a producir biomasa se reduce y también por procesos de senescencia disminuye su biomasa (Martínez et al 2022). Al disminuir su biomasa, también disminuye el área para retener este tipo de contaminantes. En el año 30 (2052) los árboles testigo, habrán eliminado un acumulado de 28 Kg de PM2,5 que equivalen a



\$272.899.806,02.

Figura 25. Eliminación de PM2,5 árboles testigos proyectada a 30 años (Procesamiento en software I-Tree Eco V6).Fuente: autores.

Eliminación de PM 2,5 árboles con tratamiento: los árboles que se les aplicó Pacobutrazol, como se aprecia en la gráfica 26, logran desde el año cero (0) eliminar 4,70 Kg de PM 2,5 equivalentes a \$45.646.392,38 e ir en ascenso hasta lograr eliminar en el año 30, la cantidad de 6,40 Kg de PM2,5 que equivalen a \$62.232.017,64. El Pacobutrazol, permite que estos ejemplares arbóreos tengan menores intervenciones silviculturales, y por ende una mayor estabilidad vegetativa que favorece la eliminación continua de contaminantes. Para el año 30



(2052), estos árboles habrán eliminado un acumulado de 171 Kg de PM 2,5, (Barrera 2019). Que equivalen a un pago por servicio ambiental (PSA) de \$1.667.802.867,54.

Figura 26. eliminación de PM2,5 árboles tratamiento, proyectada a 30 años (Procesamiento en software I-Tree Eco V6). Fuente: autores.

3.2.5. Eliminación SO₂

Eliminación de SO₂ árboles testigo: como se aprecia en la figura 27, los árboles testigo presentan una tendencia pronunciada a la disminución en la capacidad para eliminar el dióxido de azufre (SO₂), pasando de eliminar en el año cero, 4,70 Kg de SO₂ equivalentes a \$71.396,02, a eliminar en el año 30, la cantidad de 0,20 Kg de SO₂ equivalentes a \$2.403,38. En el año 30 los árboles testigo, habrán eliminado un acumulado de 43,50 Kg de SO₂ que equivalen a \$666.197,07.

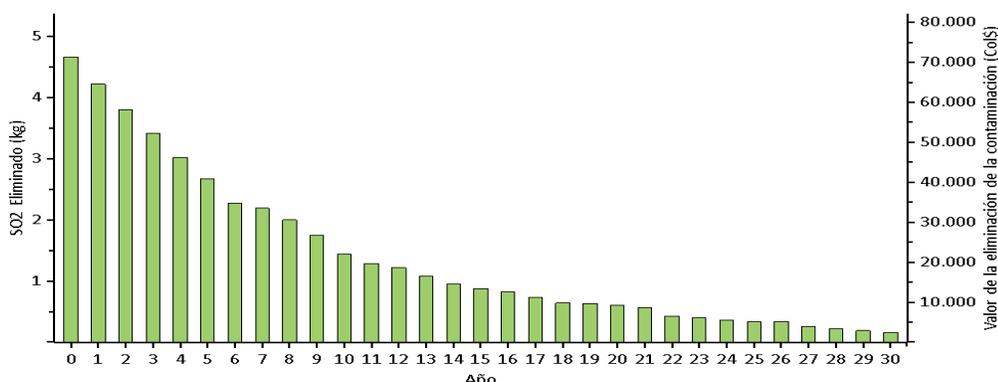


Figura 27. Eliminación de SO₂ árboles testigo, proyectada a 30 años (Procesamiento en software I-Tree Eco V6). Fuente: autores.

Eliminación de SO₂ árboles con tratamiento: en la figura 28, se puede apreciar que los árboles tratados, logran desde el año cero (0) eliminar 7,40 Kg de dióxido de azufre (SO₂) equivalentes a \$113.075,22 e ir en ascenso hasta lograr eliminar en el año 30, la cantidad de 10,10 Kg de SO₂ que equivalen a \$154.161,13. Para el año 30, estos árboles habrán eliminado un acumulado de 270,10 Kg de SO₂, que equivalen a \$4.131.480,49.

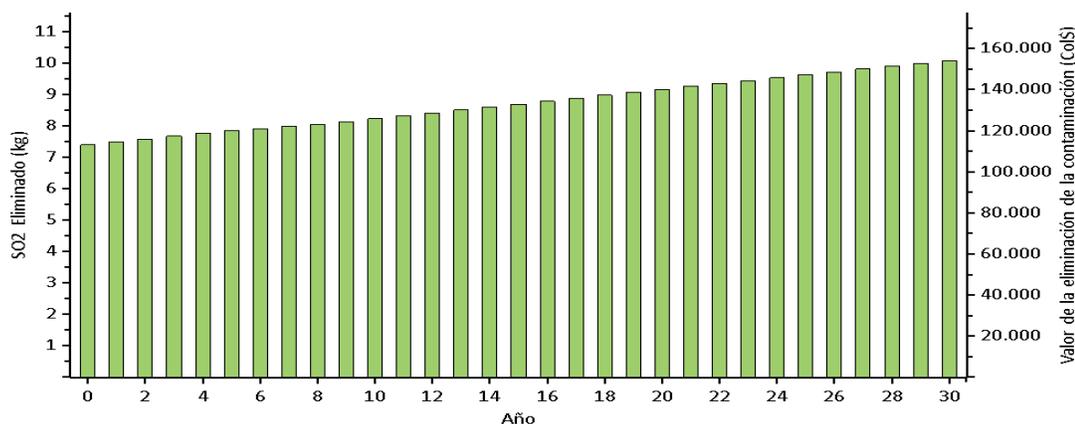


Figura 28. Eliminación de SO₂ árboles tratamiento, proyectada a 30 años (Procesamiento en software I-Tree Eco V6). Fuente: autores.

Lo anterior, permite determinar que tratar los árboles asociados a redes eléctricas, con reguladores de crecimiento presta importantes servicios ecosistémicos al medio ambiente, y a la población usuaria del servicio, ya que puede generar altos ingresos por pago por servicio ambiental. En la tabla 4 se puede apreciar a detalle los consolidados de los servicios ecosistémicos contemplados en el presente estudio, y su respectiva valoración financiera, dejando claridad de la factibilidad de este método de mantenimiento.

Tabla 4. Análisis comparativo del pago por servicio ambiental (PSA) generado por los árboles asociados a redes eléctricas con dos métodos de manejo.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	AÑO 0		AÑO 30		TOTAL ACUMULADO 30 AÑOS	
	TESTIGO	TRATAMIENTO	TESTIGO	TRATAMIENTO	TESTIGO	TRATAMIENTO
Secuestro CO ₂	\$ 1.235.948,00	\$ 2.002.235,76	\$ 74.156,88	\$ 2.725.265,34	\$ 19.707.190,86	\$ 71.833.297,76
Eliminación O ₃	\$ 9.275.175,44	\$ 14.687.482,00	\$ 312.226,83	\$ 20.024.182,46	\$ 86.546.770,28	\$ 536.643.197,43
Eliminación NO ₂	\$ 190.548,89	\$ 302.842,32	\$ 6.415,59	\$ 412.888,14	\$ 1.778.349,80	\$ 11.065.086,83
Eliminación pm 2.5	\$ 29.246.539,99	\$ 45.646.392,38	\$ 984.515,55	\$ 62.232.017,64	\$ 272.899.806,02	\$ 1.667.802.867,54
Eliminación SO ₂	\$ 71.396,02	\$ 113.075,22	\$ 2.403,38	\$ 154.161,13	\$ 666.197,07	\$ 4.131.480,49
TOTAL	\$ 40.019.608,34	\$ 62.752.027,68	\$ 1.379.718,23	\$ 85.548.514,71	\$381.598.314,03	\$2.291.475.930,05

Al comparar el método de manejo tradicional (solo poda) con el método de manejo con regulador de crecimiento, se puede evidenciar que este último, presenta mayores beneficios en el largo plazo, ya que genera valores financieros elevados del pago por servicio ambiental (PSA) a percibir como una externalidad positiva del método aplicado, lo cual podría contribuir en la baja de las tarifas de los usuarios. Como se observa en la tabla 4 y en la figura 29, el método tradicional o testigo (solo poda) presenta un valor financiero acumulado de \$381.598.314,03 a lo largo de los 30 años de proyección, mientras que, el método con regulador de crecimiento presenta un valor financiero acumulado de \$2.291.475.930,05.

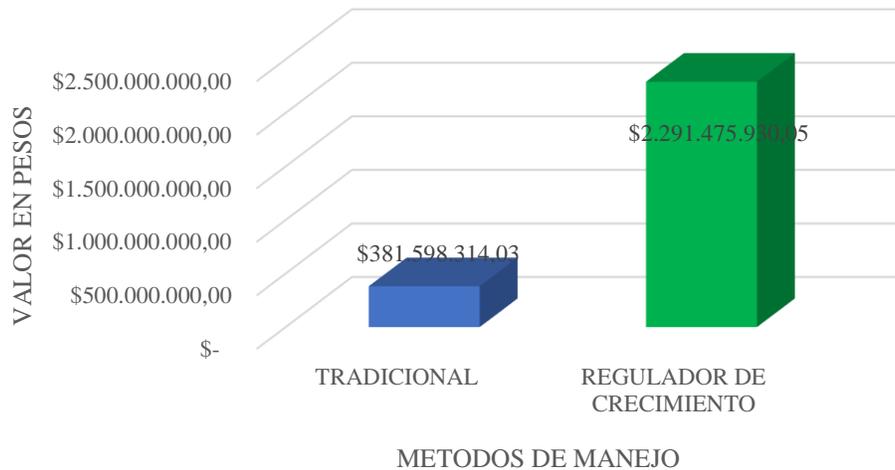


Figura 29. Análisis comparativo del pago por servicio ambiental (PSA) generado por los árboles tratados con dos métodos de manejo.

3.3. Análisis comparativo de los costos de mantenimiento de los árboles asociados a redes eléctricas utilizando el método de regulación con Paclobutrazol y el método tradicional

Luego de analizar los costos de los dos métodos de mantenimiento (tradicional y con regulador) del arbolado asociado a redes eléctricas, con proyección a 30 años, se determinó que el mantenimiento tradicional de los árboles, es decir, intervenirlos con ciclos cortos de poda (4 ciclos anuales), resulta mucho más costoso que el método con regulador de crecimiento, ya que estos ciclos tan frecuentes, se traducen en gastos de mano de obra, equipos, vehículos, materiales e insumos, que generan costos elevados en la generación del servicio, y que finalmente se traducen en sobrecostos tarifarios que debe pagar el usuario. En las tablas 5 y 6 puede apreciarse los costos año a año de cada uno de los métodos de mantenimiento, demostrando que el método tradicional cuesta \$10.792.608.921 durante los 30 años de proyección

Tabla 5. Relación de los costos de mantenimiento de los árboles asociados a redes eléctricas utilizando el método tradicional con proyección a 30 años.

AÑO	TOTAL COSTO ANUAL MANTENIMIENTO TRADICIONAL
1	\$310.267.143
2	\$313.369.815
3	\$316.503.513
4	\$319.668.548
5	\$322.865.233
6	\$326.093.886
7	\$329.354.825

8	\$332.648.373
9	\$335.974.857
10	\$339.334.605
11	\$342.727.951
12	\$346.155.231
13	\$349.616.783
14	\$353.112.951
15	\$356.644.080
16	\$360.210.521
17	\$363.812.626
18	\$367.450.753
19	\$371.125.260
20	\$374.836.513
21	\$378.584.878
22	\$382.370.727
23	\$386.194.434
24	\$390.056.378
25	\$393.956.942
26	\$397.896.511
27	\$401.875.477
28	\$405.894.231
29	\$409.953.174
30	\$414.052.705
COSTO TOTAL (30 años)	\$10.792.608.921

Por su parte, el método con regulador de crecimiento, tiene un costo total de implementación y mantenimiento durante los 30 años, de tan solo \$3.783.353.891, lo que equivale al 35% del costo total del método tradicional, en este sentido, se estaría generando un ahorro en costos de generación y mantenimiento del servicio eléctrico del 65%, equivalente a \$ 7.009.255.030 que deberían verse reflejados en las tarifas de los usuarios, si se aplicara este método de control de crecimiento para el mantenimiento del arbolado asociado a las redes eléctricas en los circuitos estudiados (ver tabla 6, figura 30). Ya que La reducción de la tasa de crecimiento podría reducir prácticas de manejo necesarias para mantener la vida productiva de los árboles, como es la poda. Avilán, et al. (1982),

Tabla 6. Relación de los costos de mantenimiento de los árboles asociados a redes eléctricas utilizando el método con regulador de crecimiento con proyección a 30 años.

AÑO	TOTAL COSTO ANUAL MANTENIMIENTO CON REGULADOR DE CRECIMIENTO
1	\$108.764.286
2	\$109.851.929
3	\$110.950.448
4	\$112.059.953
5	\$113.180.552
6	\$114.312.358
7	\$115.455.481

8	\$116.610.036
9	\$117.776.136
10	\$118.953.898
11	\$120.143.437
12	\$121.344.871
13	\$122.558.320
14	\$123.783.903
15	\$125.021.742
16	\$126.271.959
17	\$127.534.679
18	\$128.810.026
19	\$130.098.126
20	\$131.399.107
21	\$132.713.098
22	\$134.040.229
23	\$135.380.632
24	\$136.734.438
25	\$138.101.782
26	\$139.482.800
27	\$140.877.628
28	\$142.286.405
29	\$143.709.269
30	\$145.146.361
TOTAL COSTO (30 AÑOS)	\$3.783.353.891

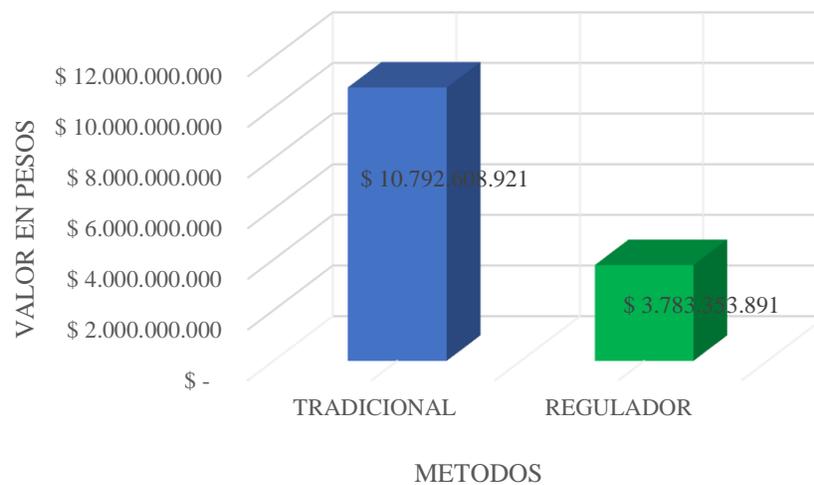


Figura 30. Análisis comparativo de los costos de mantenimiento a 30 años, con los dos métodos de manejo (Tradicional VS con regulador de crecimiento).

4. Conclusiones

- La relación entre concentración y método, más efectivas son el método de inyección en el tronco a una concentración de 20.000 ppm, arrojando resultados positivos y altamente significativos en el 80 % de las especies estudiadas.
- La especie Matarratón (*G. sepium*) presentó los resultados más significativos en cuanto a regulación del crecimiento, ya que demostró que el producto Paclobutrazol, interviene activa y rápidamente en su desarrollo fisiológico, controlando su vigor post-poda.
- Se observó en las especies que respondieron ante el regulador, la relación entre tiempo de desarrollo y biomasa, ya que entre más tiempo se gasten las ramas en crecer, más atiborradas de biomasa y carbono estarán estas, por su parte los testigos demostraron todo lo contrario, en donde las ramas que crecen más rápido son las que poseen menor peso, menor biomasa y menor capacidad de fijación de carbono.
- La aplicación del producto mejora las características fenológicas de las especies intervenidas, ya que se notó mejora en la intensidad del follaje, aparición masiva de flores y frutos.
- La implementación del mantenimiento del arbolado asociado a redes eléctricas, con regulador de crecimiento, genera importantes beneficios ecosistémicos atribuibles como pago por servicio Ambiental.
- La implementación del mantenimiento del arbolado asociado a redes eléctricas, con regulador de crecimiento, reduce los costos de generación y mantenimiento del servicio y podría contribuir a la baja tarifaria para los usuarios.

Referencias Bibliográficas

LLANOS, C. J. (2022). Modelos Optimos de Plantación de los Árboles Urbanos. Asociación Colombiana de Arboricultura ACA, Cali, Colombia.

ARTECA, R. N. (1996). Plant growth substances, principles and applications. Chapman & Hall, New York, EE.UU.

CRASSWELLER (2017)., R. Profesor de Fruticultura, Departamento de Horticultura, The Pennsylvania State University. University Park, PA, USA.

GONZÁLEZ, A., AGUIRRE, M., & RAISMAN, J. (2000). Las plantas y su estructura. Citado de la Web: <http://fai.unne.edu.ar/biologia/planta/planta.htm>.

JARDÍN BOTÁNICO JOSÉ CELESTINO MUTIS. CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO CIENTIFICO. Manual de arborización para Bogotá, D.C. Alcaldía Mayor de Bogotá. 2000.

LEÓN, W. (1995). Características de fuste y corteza útiles en la determinación de especies de la unidad experimental de la Reserva Forestal de Caparo. Revista Forestal Venezolana. 39(2): Pág. 51-61.

MAHECHA G., OVALLE A., CAMELO D., ROZO A., BARRERO D. 2004. Vegetación del territorio CAR. 450 especies de sus llanuras y montañas.

Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, New York.

MICHAU, E. 1987. Poda, el tamaño de árboles ornamentales. Citado el 10 de Agosto de 2017. Mundi-Prensa. Madrid. Enlace: https://www.researchgate.net/publication/44441325_La_poda_de_los_arboles_ornamentales Emmanuel Michau

ROJAS G, & RAMIREZ, H. (1993). "Control hormonal del desarrollo de las plantas". Limusa, Noriega, México D. F.

SELA, G. 2017. Fertilización foliar. (Online). <http://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/foliar-feeding>. (Citado el 15 de agosto de 2017).

ISA (2011). Sociedad Internacional de Arboricultura. Guía de estudio para la certificación del arborista.

UACH, 1996. Universidad autónoma de Chapingo. Inyección sistémica en los árboles. Área de agronomía. México. Impreso en la CPMI.

WHEELER, E. (1999). Tree growth. Citado de la web: <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/class/wps/syl/treegr.htm>.

IDEAM 2019. Gases de Efecto Invernadero, Generalidades del Ozono. Bogotá DC.

CONTRERAS ETAL 2012. Evaluación del efecto del Austar® (Paclobutrazol), anillamiento y la combinación de ambos, en la inhibición de brotes vegetativos en Mango (*Mangifera indica*) en la finca San Pablo, Comayagua, Honduras.

Felles ETAL, 2015. Aplicación de Paclobutrazol en el rendimiento del cultivo de palto cv. "Hass", Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho – Huacho - Perú.

PADILLA ETAL 2017. Influencia de Paclobutrazol en el Crecimiento de Brotes y Rendimiento de *Psidium guajava* L. en Alta Densidad, Aguascalientes, México.

WATSON, G. W. 2001. Soil applied paclobutrazol affects root growth, shoot growth, and water potential of American elm seedlings. *Journal of Environmental Horticulture* 19(3): 119 - 122. http://www.hrresearch.org/docs/publications/JEH/JEH_2001/JEH_2001_19_3/JEH%2019-3-119-122.pdf [Links]

WATSON, G. W. 2006. The effect of paclobutrazol treatment on starch content, mycorrhizal colonization, and fine root density of white oaks (*Quercus alba* L.). *Arboriculture & Urban Forestry* 32(3): 114-117. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=233&Type=2> [Links]

ISA (2011). Sociedad Internacional de Arboricultura. Guía de estudio para la certificación del arborista.

Arias, J 2009. Cuantificación y Valoración Económica del Pago por Servicio Ambiental (PSA) de Fijación y Almacenamiento de Carbono en un Bosque Primario de la Subcuenca del río Tutunendo – Quibdó – Chocó – Colombia.

IDEAM 2019. Gases de Efecto Invernadero, Generalidades del Ozono. Bogotá DC.

Martinez, H, 2022. Identificación de Enfoques Institucionales y Financieros Adecuados para la Implementación de un Bosque Integral de Arbolado como Medida para la Adaptación al Cambio Climático en la Ciudad de Santamarta. City Climate Finance GAP Found–Magdalena – Colombia.

BARRERA D, 2019. análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (mp_{2,5}), mediante el software i – tree eco al interior del parque ecuador en la ciudad de concepción.

AVILÁN, L. E; M. L LEAL; J. GARCÍA C.; P. RODRÍGUEZ. 1982. Observaciones sobre los sistemas de plantación del naranjo dulce (*Citrus sinensis*) en Venezuela. *Agronomía Tropical*. 33(1-6): 287-321.